FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1919 **THÈSE** N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

PAR

Albert LIACRE

Né le 23 Juin 1888, à Paris.

LA DIGESTION

DES

CELLULES A ALEURONE

DU BLÉ

(Pain blanc et Pain bis)

Président : M. M. LETULLE, *Professeur.*

PARIS

LIBRAIRIE LITTÉRAIRE ET MÉDICALE

2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

1919

Faculté de Médecine de Paris

LE DOYEN : M. ROGER — ASSESSEUR : M. POUCHET

PROFESSEURS	MM.
Anatomie	NICOLAS
Anatomie topographique	Auguste BROCA
Physiologie	Ch. RICHET
Physique médicale	WEISS
Chimie organique et Chimie générale	DESGREZ
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	N.
Pathologie et Thérapeutique générales	ACHARD
Bactériologie	BEZANCON
Pathologie interne	VAQUEZ
Pathologie chirurgicale	N.
Anatomie pathologique	LETULLE
Histologie	PRENANT
Opérations et appareils	N.
Pharmacologie et matière médicale	POUCHET
Thérapeutique	CARNOT
Hygiène	CHANTEMESSE
Médecine légale	N.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	N.
Pathologie expérimentale et comparée	ROGER
Clinique médicale	WIDAL, GILBERT, CHAUFFARD, N.
Maladies des enfants	HUTINEL
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	DUPRÉ
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	JEANSELME
Clinique des maladies du système nerveux	Pierre MARIE
Clinique chirurgicale	Pierre DELBET, QUENU, LEJARS, HARTMANN
Clinique ophtalmologique	DE LAPERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires	LEGUEU
Clinique d'accouchements	BAR, COUVELAIRE, RIBEMONT-DESSAIGNES
Clinique gynécologique	N.
Clinique chirurgicale infantile	N.
Clinique thérapeutique	Albert ROBIN
Hygiène et clinique de la 1re enfance	MARFAN.
Clinique des maladies infantiles	THISSIER

Agrégés en exercice

MM.			
ALGLAVE	GUILLAIN	LOEPER	ROUSSY
BERNARD	JEANNIN	MAILLARD	ROUVIERE
BRANCA	JOUSSET (A.)	MOCQUOT	SCHWARTZ (A
BRUMPT	LARBÉ (Henri)	MULON	SICART
CAMUS	LAIGNEL-LAVASTINE	NICLOUX	TANON
CASTAIGNE	LANGLOIS	NOBECOURT	TERRIEN
CHAMPY	LECENE	OKINCZYC	TIFFENEAU
CHEVASSU	LEMIERRE	OMBREDANNE	VILLARET
DESMAREST	LENORMANT	RATHERY	ZIMMERN
GOUGEROT	LEQUEUX	RETTERER	
GREGOIRE	LEREBOULLET	RIBIERRE	
GUENIOT	LERI	RICHAUD	

Par delibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MA FEMME

A MES ENFANTS

A MA FAMILLE

51559

AVANT-PROPOS

La question du pain blanc et du pain bis ne date pas d'aujourd'hui. A chaque période de crise alimentaire de la période moderne, les partisans du pain blanc ont soutenu que ce pain était le plus nutritif, qu'on ne gagnait rien à ajouter à la farine blanche une plus ou moins grande partie de son, parce que, d'une part, les matières enfermées dans ce son ne sont pas digestibles et que, d'autre part, certaines d'entre elles ont une influence nuisible sur le pain et sur l'homme.

Les partisans du pain bis ont soutenu que l'on gagnait beaucoup en matières nutritives à ne pas écarter de la farine tout ou partie de l'enveloppe du grain de blé, et même que le pain bis a plus de qualités que le pain blanc tant au point de vue de la saveur que de son action favorable sur les fonctions digestives. Les plus récents en date invoquent la présence des vitamines du blé dans le pain bis.

Certains d'entre les partisans du bain bis se sont

ingéniés à trouver les moyens d'obvier aux inconvénients qui résultent de l'introduction de l'enveloppe du grain dans la farine.

Pendant cette guerre, la question s'est posée avec plus d'intérêt que jamais, puisque le déficit de notre récolte de blé était, en 1917, d'environ 50 millions de quintaux. On sait comment elle a été résolue en pratique, puisque le Gouvernement, seul acheteur de blé et distributeur de farine, n'a autorisé la fabrication du pain qu'avec des farines d'extraction élevée.

La séparation est en effet impossible à faire pratiquement, d'une façon parfaite, entre le son et l'amande farineuse et, à rejeter toute l'enveloppe du grain, on perd une forte proportion de l'amande.

Mais est-ce là le seul avantage qu'il y ait à ne pas rejeter le son? Celui-ci ne contient-il pas certaines matières nutritives? Ces matières nutritives ne sont elles pas digestibles?

Cette question déjà examinée, du point de vue histologique, par un certain nombre d'auteurs, ne l'a cependant pas été d'une façon systématique; certains aspects en ont été omis, notamment l'état dans lequel se trouvent les cellules à aleurone dans toute une série de produits, farines diverses, sons et pain avant et après la digestion.

C'est ce qui fait plus particulièrement le sujet de notre thèse. Les observations (1) en ont été faites, pendant notre convalescence, à la suite d'une blessure de

(1) Voir particulièrement le chapitre « Expérimentation ».

guerre, d'Octobre 1917 à Mai 1918, au Laboratoire de Physiologie du Muséum, rattaché pendant la guerre au Ministère des Inventions (1).

Nous adressons ici l'hommage de notre reconnaissance à M. le Professeur Lapicque pour la bienveillance qu'il nous a toujours témoignée depuis plusieurs années. M. R. Legendre nous initia avant la guerre aux choses de l'histologie. Il le fit avec patience. Nous voulons lui dire ici notre reconnaissance et notre amitié.

Nous remercions pour les documents qu'ils ont pu nous fournir MM. Chaussin, Devillers et Barbé.

Enfin, au terme de nos études, nous voulons remercier de leur enseignement nos maîtres, à la Faculté des Sciences, MM. le Professeur Dastre (*in memoriam*) et Portier, et dans les hôpitaux, MM. les Professeurs agrégés Rénon, Ombrédanne, MM. les Docteurs Arrou, Claisse, Brault et Chaslin.

Nous exprimons notre gratitude à M. le Professeur Letulle qui a bien voulu accepter la présidence de cette thèse.

(1) L. Lapicque et A. Liacre. — Digestion des cellules à aleurone incorporées dans le pain actuel. *C. R. Soc. Biol.*, 9 Mars 1918.

TECHNIQUE

Chacun des produits que nous étudierons doit être préparé par un procédé spécial.

Le blé peut être débité par coupes à main levée sur le produit sec ou par coupes après inclusion à la paraffine ; pour les gros sons de provenances diverses, il faut choisir des pellicules de dimensions suffisantes pour qu'on puisse les orienter facilement et en placer plusieurs de champ à la suite les uns des autres. On pratique après ou sans fixation la déshydratation progressive par les alcools, puis le passage au xylol et l'inclusion.

Les gros sons peuvent aussi être examinés sans inclusion, surtout quand il s'agit de sons ayant subi des digestions qui les ont débarrassés de l'amidon et du gluten gênant l'examen. On peut les monter à l'eau distillée, au lacto-phénol, à la glycérine. Le lacto-phénol altère considérablement le contenu des cellules

à aleurone, mais permet de bien voir leurs membranes.

Pour les matières très fines, telles que farines pulvérulentes, résidus de digestion de farines, un procédé commode consiste à les enfermer dans un nouet formé d'une toile de bluterie n° 70 ou 100 suivant la dimension des particules. A l'aide d'une pince à forcipressure prenant les angles du nouet, on passe le tout d'un liquide à l'autre, sans perdre la moindre parcelle.

Enfin pour le pain, on peut procéder soit par coupes à main levée, soit par coupes après inclusion à la paraffine. Dans les coupes à main levée, il faut se servir de pain rassis, le pain frais, trop mou, ne permettant pas de faire des coupes minces d'assez grandes dimensions.

Fixation. — L'alcool donne de bons résultats dans tous les cas. Cependant le fixateur de Bouin est préférable avant la coloration à la fuchsine acide ou au Soudan III, et avant une coloration qui nous est personnelle : Van Gieson — vert d'iode — rouge neutre.

Coloration. — Celle dont nous nous sommes presque toujours servi est la coloration au vert d'iode-éosine orange.

Le vert d'iode en solution aqueuse à 1 p. 100 colore en vert bleu plus ou moins intense les diverses celluloses qui constituent l'enveloppe du grain de blé et la membrane des cellules à aleurone. L'éosine orange en solution alcoolique à 1 p. 100 colore en rouge orangé l'aleurone. Cette coloration donne toujours d'excellents résultats. Il faut éviter un contact trop prolongé (1 à 2 minutes suffisent) avec le vert d'iode qui provoquerait

une surcoloration et gênerait la coloration par l'éosine orange (5 à 10 minutes).

La glychémalun donne d'excellents résultats pour l'étude du noyau des cellules. La fuchsine acide colore énergiquement les moindres parcelles d'aleurone et permet de bien se rendre compte de ce qu'il en reste après digestion.

Quant à l'aspect des cellules à aleurone dans le pain, on en juge avec une grande netteté à l'aide du Van Gieson — vert d'iode — rouge neutre.

Le montage des coupes a toujours été fait au baume du Canada.

LE GRAIN DE BLÉ

Parmi les nombreuses céréales dont beaucoup entrent sous des formes variées dans l'alimentation humaine, et qui toutes appartiennent à la famille des graminées, sauf le sarrasin (Polygonées), le froment (Triticum sativum, durum, etc..), généralement connu en France sous le nom de blé, est celle qui contribue le plus largement à l'alimentation humaine dans notre pays.

Ce travail ayant en vue l'étude d'une question souvent débattue, à savoir ce qui, à la lumière des faits histologiques, doit entrer dans la composition du pain, nous étudierons d'abord le grain de blé, puis sa transformation en farine, et enfin en pain pour voir dans une seconde partie de quelle façon la digestion agit sur ces différents produits.

Le grain de blé se compose de deux parties, une extérieure, résistante, de couleur roussâtre, l'enveloppe ; une centrale, l'amande farineuse.

On sait en botanique que, dans la transformation de la fleur en fruit et en graine, la paroi de l'ovaire fournit le

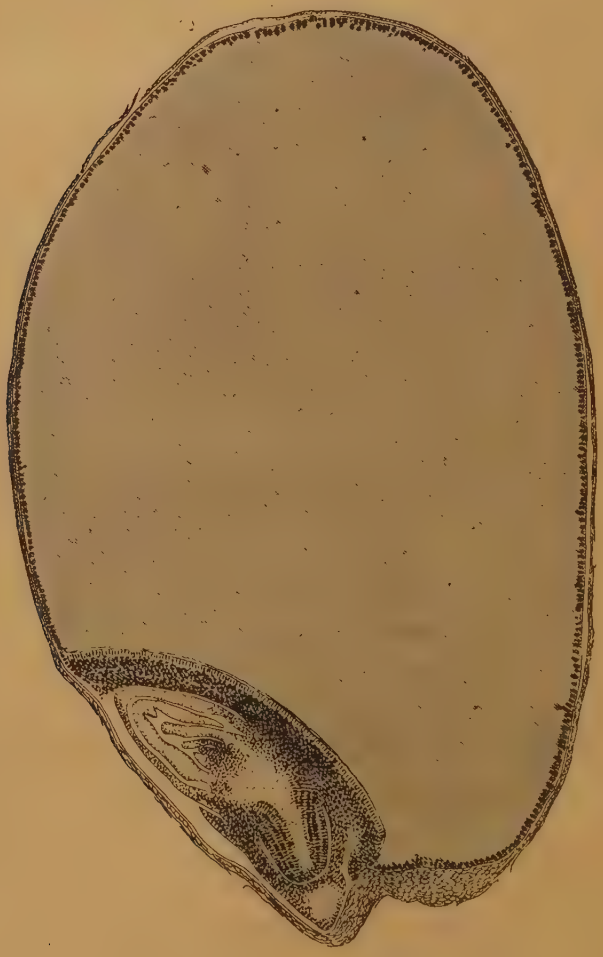

Fig. 1. — Grain de blé. *Coupe longitudinale.*

péricarpe ; le tégument de l'ovule (primine et secondine) donne le tégument de la graine.

Le parenchyme de la nucelle se résorbe.

Le noyau secondaire du sac embryonnaire, par bipartitions successives, fournit l'albumen.

A la suite de la division du noyau de l'œuf, la cellule supérieure donne le suspenseur, la cellule inférieure

Fig. 2. — Grain de blé. *Coupe transversale.*

l'embryon dont la radicule est dirigée du côté du suspenseur.

Dans le grain de blé, le péricarpe est un péricarpe sec. Il se compose de l'épicarpe formé de cellules épaisses allongées suivant le grand axe du grain. Puis vient le mésocarpe formé de 2 ou 3 assises de cellules de structure analogue. La plus interne est formée de cellules très allongées, les « cellules transversales. ». L'endocarpe est représenté par des cellules dirigées perpendiculairement aux précédentes : « les cellules tubulaires ».

Sous le péricarpe se trouvent trois nouvelles assises : une, la plus externe, formée de 2 couches de cellules, qui est le tégument séminal ; puis la bande hyaline provenant de l'épiderme de la nucelle ; enfin les cellules de l'assise protéique ou cellules à aleurone (1).

Avec la coloration vert d'iode-éosine, les diverses

Fig. 3. — Les cellules à aleurone.

couches du péricarpe prennent une teinte verte très nette. La bande hyaline garde une teinte jaunâtre brillante. Les cellules à aleurone sont la partie la plus intéressante de cet ensemble de six assises cellulaires. — Elles ont un aspect tellement régulier, attirent tellement l'attention que les anciens auteurs appelaient cette

(1) Guérin. Thèse 1899, Paris. Masson.

couche de cellules : la couche merveilleuse. Il est cependant encore des auteurs qui ignorent l'aspect de ces cellules puisqu'on a donné comme étant les grains des cellules à aleurone ce qui est la cellule toute entière (1). Elles se colorent en rouge orangé par l'éosine orange ; des granulations, en grand nombre, tranchent sur le fond de la cellule par leur teinte sombre. Ces cellules sont pourvues d'un noyau volumineux très visible avec la coloration au glychémalun. Nous verrons plus loin leur composition chimique, et qu'elles contiennent en quantité appréciable des corps gras décelables par le Soudan III, en plus des matières albuminoïdes et minérales qui entrent pour la plus grande part dans leur constitution.

Ces cellules ont une forme à peu près régulièrement cubique et mesurent environ 30 μ de côté.

Le fait important à retenir, c'est la présence au sein d'un ensemble de tissus extrêmement résistants appartenant tous au groupe des celluloses (tous par le chlorure de zinc iodé prennent une teinte bleue très nette), d'un groupe de cellules de constitution chimique entièrement différente.

Une remarque importante s'impose dès maintenant : c'est qu'une confusion s'est établie qui a souvent été exploitée dans la pratique, entre la signification botanique du mot son ou plutôt enveloppe, et son sens pratique (2).

(1) James Grant. *The Chemistry of Breadmaking*. London, 1912. (Cf. la figure de la page 99.)

(2) Conclusions relatives à la question du blé des séances de la Commis-

Nous avons limité cette zone de l'enveloppe à l'ensemble des tissus cellulosiques, plus les cellules à aleurone. Dans la pratique, nous verrons que les procédés industriels ne font pas la séparation exactement entre la cellulose plus la couche d'aleurone et l'amande farineuse, et qu'il y a une véritable pétition de principe à dire :

« Le son, c'est de la cellulose, — or la cellulose ne nourrit pas, — donc il faut rejeter le son. »

Le son de la pratique est quelque chose de plus complexe encore que ce que nous venons de décrire rapidement sous le nom d'enveloppe. Mais dès maintenant nous disons que ce son serait-il simplement cette enveloppe, il est déraisonnable de l'écarter *à priori* de l'alimentation humaine.

L'amande farineuse est située au centre du grain de blé, et sa surface externe est en contact direct avec la couche des cellules à aleurone. Payen a montré que les grains d'amidon les plus superficiels ont des dimensions moindres (10 μ) que ceux de l'intérieur du grain (20 μ). L'espace qui sépare ces grains est comblé par le gluten, matière azotée, élastique, dont nous verrons la composition. C'est sous l'enveloppe que le gluten est le plus abondant.

Le germe se compose de l'embryon (gemmule et radicule) et du scutellum qui l'entoure. C'est au niveau de ce scutellum que l'on trouve les cellules à aleurone du germe.

sion d'Alimentation de la Société de Biologie. *C. R. Soc. Biol.*, T. LXXXI, 26 Juillet 1918, p. 807-810.

Composition chimique du grain de blé.

Enveloppe. — Voici au point de vue quantitatif, la composition de l'enveloppe du grain de blé, d'après A. Girard et Lindet (1).

Enveloppe = 14,36 du poids du grain.

Péricarpe.		
Eau	3,58	
Ligneux non azoté	24,43	= 31,00
Matières azotées	2,41	
Matières minérales	0,58	
Tégument séminal.		
Eau	0,92	
Matières non azotées	5,06	= 7,09
Matières azotées	1,25	
Matières minérales	0,46	
Bande hyaline et assise protéique		
Eau	7,23	
Matières cellulosiques	29,61	
Matières azotées	15,21	= 61,31
Matières grasses	5,60	
Matières minérales	3,66	
	100,00	

On voit l'importance de l'assise protéique au point de vue matières azotées, grasses et minérales. Quant aux cellules à aleurone elles-mêmes, Posternak (2) a montré que 50 p. 100 en étaient constitués par des albuminoïdes, 25 à 50 p. 100 par d'autres substances d'origine minérale ou organique. Parmi ces substances, la plus importante est l'acide anhydro-oxyméthylène diphosphorique, qui contient 26,08 de phosphore. L'acide libre répond à la formule $C^2H^8P^2O^9$. Il se pré-

(1) A. Girard et Lindet. *Le Froment et sa mouture.* Paris. Gauthier-Villars.

(2) Posternak. *C. R. Acad. Sciences.* T. CXXXVII, p. 202 et *C. R. Soc. Biol.* 17 Octobre 1903.

sente sous l'aspect d'un liquide jaune, transparent, légèrement sirupeux. Il est sans action sur la lumière polarisée, ne réduit pas la liqueur de Fehling. Il forme des sels bien cristallisés dont l'un, qui est sa combinaison calcique et magnésique, est connu sous le nom de phytine.

Posternak, qui a dosé l'aleurone dans toute une série de végétaux (sapin, tournesol, chènevis, lupin blanc, froment, lentilles, maïs, pois, haricots, etc.) a noté la présence dans les cellules à aleurone des corps suivants : azote, phosphore, soufre, silicium, potassium, magnésium, calcium, fer, manganèse. Mais il n'y a trouvé ni chlore, ni sodium.

On voit quelle est l'importance de cette assise protéique, tant au point de vue de la richesse, de la variété de ses éléments constitutifs que de son importance par rapport au reste du grain.

En se reportant aux chiffres cités plus haut, on constate en effet que les matières azotées de cette assise représentent environ 1 p. 100 du poids total du grain, et les matières minérales 2 p. 1000. Mais on rencontre au niveau de l'assise protéique un ferment, la céréaline de Mège-Mouriès (1), qu'on peut considérer comme une oxydase. Ce ferment a une influence fâcheuse sur les qualités du pain : il diminue l'élasticité du gluten, rend la mie collante, poisseuse et donne au pain une coloration bise. Nous verrons plus loin toute l'importance de cette question.

(1) Mège-Mouriès. *C. R. Acad. Sciences*, T. XXXVII, p. 351; T. XXXVIII, p. 505; T. XLVI, p. 126; T. LIV, p. 445.

Amande. — Dans l'amande farineuse, le gluten représente environ de 6 à 12 p. 100 du poids de la farine pour des extractions de 60 à 70 p. 100.

D'après Fleurent (1), on peut distinguer dans le gluten 3 substances : la gliadine, la gluténine, la conglutine. C'est la gliadine qui par sa viscosité donnerait au pain ses qualités de légèreté ; mais il faut pour cela qu'elle soit avec la gluténine dans le rapport de 25 à 75.

Quant à l'albumen, il représente environ 83 p. 100 du poids du grain.

Le germe représente en moyenne 1,43 du poids du grain. Il renferme 42,75 p. 100 de matières azotées, 12,50 p. 100 de matières grasses, 5,3 p. 100 de matières minérales.

(1) Fleurent. *Bulletin de la Société d'encouragement*, 1898, p. 551, *loc. cit.* M. A. Girard et Lindet,

LA FARINE

Avant d'être écrasé, le blé doit subir diverses manipulations sur lesquelles nous ne nous étendrons pas et qui ont pour but de séparer du blé diverses impuretés : graines de nielle, de gaillet, de liseron, d'avoine, pierres, etc. Nous n'entrerons pas dans le détail des nombreux appareils qui effectuent ce travail. Ces opérations s'effectuent soit à sec (blés tendres et demi-tendres), soit en présence de l'eau (blés durs).

Le blé est donc prêt à être broyé.

Dès la plus haute antiquité, l'usage semble avoir existé de pierres de forme appropriée destinées à écraser le grain (1). Un certain nombre de ces pierres ont été retrouvées dans les palafittes des lacs suisses, dans un certain nombre de stations françaises (Chessemy, Tercis, Seyresse, etc.), suédoises, italiennes. Ce sont des pierres de forme générale plate, dont l'usage se

(1) A. Girard et Lindet. *Le froment*, p. 150.

retrouve chez les Assyriens, les Egyptiens, les Grecs, de nos jours en Abyssinie, au Zambèze, à Haïti.

Les Juifs employaient couramment le mortier dans lequel ils écrasaient le grain à l'aide d'un pilon.

Puis apparaît la meule tournante. Nous laisserons de côté la question, intéressante au point de vue historique, de savoir à quelle époque remonte l'usage de cette meule qui, même dans les pays civilisés, s'est perpétué jusqu'à nos jours. En tous cas, il en reste des vestiges indiscutables dans les ruines de Pompéï.

Ces meules se composaient d'une pierre conique la « meta », coiffée d'une pierre en forme de sablier, le « catillus », qui tournait sur la méta et dont la partie supérieure, formant entonnoir, recevait le grain.

Ces meules et leurs variantes (meules gallo-romaines), mues par l'homme ou les animaux, vont peu à peu se transformer. L'apparition de la mise en mouvement purement mécanique, qui donnera une plus grande vitesse de rotation, entraînera comme conséquences : l'apparition des meules plates, — la force centrifuge suffisant à entraîner les produits de mouture à la périphérie, — la réapparition du rayonnage, déjà connu dans l'antiquité (meules plates). Il rend inutile l'usage des pierres tendres que l'on préférait à cause de leurs irrégularités (éveillures) auxquelles la meule devait son mordant. On les remplace par des pierres dures.

Cette pierre dure, le silex meulier, abondant en France, sert à la construction des meules actuelles par assemblage de plusieurs pierres « carreaux », dont la réunion forme un cylindre plat. Le « boitard », au

centre, fragmente le grain, l' « entrepied » et la « feuillère » à la périphérie l'écrasent et nettoient le son. Ces meules sont rayonnées, et c'est par l'action de ces rayons des deux meules, supérieure et inférieure, que le grain est écrasé, fragmenté, l'amande farineuse pulvérisée. A. Girard et Lindet insistent sur ce fait que l'action des deux meules doit être assez douce pour ne pas broyer le son, d'où possibilité d'une farine bise « qui contiendra les cellules détachées de l'assise protéique..., qui renferment de la céréaline, le ferment qui rend le pain bis ».

De nos jours, la meule, dans les grandes exploitations, a été très généralement remplacée par le cylindre. Quel que soit l'inventeur du cylindre, citons cette phrase d'A. Girard et Lindet : « C'est à la maison Ganz, de Budapest, et spécialement à son distingué directeur, M. André Mechwart, que l'on doit la réalisation de ce progrès industriel ». Il n'est pas négligeable de noter, au lendemain de la guerre, notre travail ayant un but pratique, que c'est beaucoup grâce à la diffusion en France d'un matériel dont les constructeurs étaient nos futurs ennemis, que s'est enraciné et propagé ce que nous considérons comme une hérésie au point de vue scientifique.

Nous n'entrerons pas dans la description de l'installation compliquée d'un moulin à cylindres.

D'une façon schématique, le grain passe par une série d'écrasements et de tamisages, ceux-ci étant destinés à séparer, des débris de l'enveloppe, l'amande

farineuse réduite en poudre fine. Le broyage du grain est assuré par les cylindres. Les cylindres, en fonte aciérée durcie par la trempe, sont munis de cannelures parallèles faisant un angle de 15° à 20°, avec les génératrices du cylindre. Les produits de broyage au cylindre sont séparés incomplètement par la bluterie, qui est constituée par des tamis de soie dont les mailles sont de dimensions fixes et classées par numéros, en farine fleur (ce qui passe à travers les soies du n° 140 au n° 120), semoules et gruaux (du n° 120 au n° 80), et « rejet » (ce qui ne peut pas passer à travers le n° 80 (gruaux vêtus, petits, moyens et gros sons). Cette bluterie, dont le travail s'effectue après celui des cylindres est la bluterie hexagonale ou à pans.

Le classement de ces différents produits s'effectue dans le sasseur.

Puis la remouture des semoules et gruaux s'effectue entre les cylindres lisses du convertisseur. « Ce qui distingue immédiatement les appareils de convertissage des appareils de broyage, c'est que les cylindres des premiers sont à surface lisse et polie ».

Il s'agit, en effet, non pas de déchirer la semoule, souvent recouverte d'enveloppe ; il s'agit de l'aplatir sous la pression des cylindres. Si les cylindres portaient des cannelures, l'enveloppe qui touche la semoule serait déchirée, déchiquetée, et la farine de l'amande se montrerait souillée de piqûres; si, au contraire, les cylindres sont lisses, l'enveloppe se lamine, s'allonge : le fragment d'amande ... se pulvérise et la séparation de la farine ainsi produite et de l'enveloppe aplatie se fait de

la façon la plus simple, sous l'action de la bluterie. » (A. Girard et Lindet).

Cette bluterie qui fait suite au convertisseur est la bluterie centrifuge, différente de celle que nous avons signalée plus haut.

On voit, d'après les lignes précédentes, que la meunerie à cylindres cherche avant tout à éliminer d'une façon parfaite toutes les parcelles d'enveloppe qui peuvent se trouver mélangées à la farine.

D'ailleurs, pour bien préciser ce point important, nous ne pouvons mieux faire que citer ces lignes d'A. Girard et Lindet, chauds partisans de la mouture aux cylindres, ou plutôt de ce qu'on cherche à lui faire donner habituellement, de la farine la plus blanche possible. « La farine de meules, du fait de l'effort brusque des pierres, renferme toujours quelques débris d'enveloppes, quelques piqûres qui en altèrent la blancheur ; la farine de cylindres, au contraire, désagrégée progressivement du grain en cours de broyage, ou désagrégée de la semoule blanche remoulue au convertisseur, se présente au consommateur avec une blancheur irréprochable... La farine de cylindres, à rendement égal, est considérée comme supérieure au point de vue de la panification ; en dehors de cette blancheur, qui rend le pain plus appétissant, elle donne une pâte qui lève mieux; le gluten, en s'échauffant sous la meule, perd une partie de son élasticité ; l'effort du cylindre, qui est moins brusque, mieux rèparti entre plusieurs appareils, échauffe moins la farine et conserve au gluten toutes ses qualités. »

Nous verrons ce qu'il peut y avoir de fondé dans cette

opinion et si la blancheur de la farine est une qualité telle qu'on doive avant tout la rechercher au détriment de qualités plus importantes.

En pratique, quelle proportion utilise-t-on du grain de blé dans la mouture courante par cylindres?

Voici le tableau dressé par A. Girard et Lindet :

Travail par cylindres (blé tendre).

En fin de mouture :

Farines.				
Noire		0,7	0,7	
Blanche	de broyage	15,3	66,0	73,6
	de convertissage	50,7		
Bise	de broyage	4,0	6,9	
	de convertissage	1,5		
	de brosse	1,4		
Issues.				
Remoulages		0,8		
Bâtards		1,8		23,0
Recoupettes		1,8		
Gros et moyens sons		18,6		
Produits de nettoyage				2,1
Pertes, évaporation				1,3
				100,0

On voit d'après ce tableau que ce qu'on utilise sous forme de farine blanche, la seule considérée comme digne d'être employée par les partisans du pain blanc, ne représente que 66 p. 100 du poids du grain. « L'étude de la composition du froment et l'étude de la valeur alimentaire de ses différentes parties constituantes ont démontré la nécessité de ne livrer à l'homme, sous forme de farine blanche, que 70 p. 100 environ du grain, le complément devant être utilisé pour les animaux, parce que les parties du grain qui constituent ce complément peuvent avec moins d'inconvénients servir à leur alimentation. » (A. Girard et Lindet).

Quelle est donc la composition des issues?

Un grossier examen du son montre que sa surface interne a une coloration blanche très nette due aux parties de l'albumen qui n'ont pas pu être séparées par la mouture. D'ailleurs, voici un pourcentage établi par A. Girard et Lindet : Composition des issues du moulin de M. Ch. Vaury (moulin à cylindres).

	GROS SONS	MOYENS SONS	RECOU-PETTES	BA-TARDS	REMOU-LAGES	SOUF-FLURES
	—	—	—	—	—	—
Eau	11,52	10,97	10,75	10,72	10,19	10,58
Amidon	14,37	14,76	32,80	33,67	37,75	49,32
Cellulose	13,10	12,88	7,42	5,80	4,37	6,00
Pentosanes	21,20	21,40	16,10	11,45	11,20	14,50
Huile	2,19	2,60	3,73	5,15	3,70	1,79
Sucres, autres matières ternaires.	17,18	15,57	12,93	15,76	15,90	9,24
Matières azotées .	14,44	14,00	13,12	14,44	14,21	7,19
Matières minérales	6,00	5,82	3,15	3,01	2,68	1,38
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Voici d'autres analyses portant sur des sons recueillis au moulin de l'Assistance Publique, le 8 Juillet 1918. Ces sons constituaient le résidu de la mouture au taux d'extraction de 82, 5 p. 100 d'un mélange de 50 p. 100 de blé Plata et de 50 p. 100 de blé Manitoba.

I. — **Analyse de M. Kling.**

Pour 100 grammes	TEL QUEL	SUPPOSÉ SEC
	—	—
Humidité	11 gr. 10	—
Matières azotées	16 — 40	18 gr. 45
Matières grasses	4 — 63	5 — 21
Matières saccharifiables par HCl dilué (glucose × 0,9)	50 — 92	57 — 28
Matières saccharifiables par les diastases du malt	23 — 28	26 — 19
Matières non dosées expertes . .	3 — 44	3 — 87
Cellulose	8 — 12	9 — 13
Cendres	5 — 39	6 — 06
	100 gr. 00	100 gr. 00

II. — **Analyse du laboratoire de M. Lapicque.**

A. *Analyse de M. Devillers* : digestion artificielle par la ~~pounialine~~ pancréatine.

Pour 100 grammes	TEL QUEL	SUPPOSÉ SEC
Humidité	11 gr. 71	—
Après action de la ~~pounialine~~ pancréatine.		
1. — Portions solubilisées :		
Matières azotées	10 — 45	11 gr. 84
Matières saccharifiables . .	30 — 31	34 — 33
Matières non dosées . . .	17 — 83	20 — 19
2. — ~~Résidu~~ insoluble.	29 — 70	33 — 64
	100 gr. 00	100 gr. 00

B. *Expérience de M. Chaussin* : Digestion par le chien.

Il en résulte que la proportion d'indigestible pour 100 grammes de son sec est de 47 gr. 50 (1).

Il reste donc une quantité considérable de substances nutritives dans ces issues qui sont systématiquement écartées de l'alimentation humaine et que l'on considère comme ne devant pas entrer dans la composition d'un pain acceptable.

*
* *

Avant la guerre, on utilisait donc des farines qui, en général, représentaient environ 70 p. 100 du poids du grain. Ce taux d'extraction, pendant les hostilités, a été modifié à différentes reprises. Cette élévation du taux d'extraction vint compléter toute une série de mesures : réquisition des blés (Lois du 16 Octobre 1915, du 29 Juillet 1916), taxation des blés (Lois du 29 Juillet 1916), réqui-

(1) Conclusions relatives à la question du blé des séances de la Commission d'alimentation de la Soc. de Biol., tenues sous la présidence de M. Charles Richet. *C. R. Soc. Biol.*, 27 Juillet 1918. T. LXXXI, n° 15.

sition des farines (Loi du 16 Octobre 1915 et du 29 Juillet 1916), taxation des farines (Décrets du 27 Octobre 1915, Loi du 29 Juillet 1916), interdiction de l'emploi des farines pour l'alimentation du bétail, des chevaux, ânes et mulets (Loi du 25 Avril 1916) etc... (1).

Les mesures concernant le taux d'extraction des farines n'eurent qu'assez tardivement un sens précis au sujet de la question qui nous occupe. Les premières Lois (16 Octobre 1915, 25 Avril 1916 et 8 Avril 1917), n'intervinrent que pour servir de base au calcul de la taxe. « C'est à tort qu'on a donné communément dans le commerce à la farine, telle qu'elle doit être fabriquée d'après la Loi du 29 Juillet 1916, ce nom de farine à 80 p. 100 ; cette appellation est impropre; elle peut prêter à de nombreux malentendus. — En effet, ni la loi, ni les décrets ou circulaires n'imposent aux meuniers un taux d'extraction; c'est uniquement comme base du calcul de la taxe par les préfets que le chiffre de 80 p. 100 a été énoncé ». (Circulaire du Ministre du Ravitaillement du 10 Avril 1917).

Le premier, le Décret du 3 Mai 1917 imposa aux meuniers un taux d'extraction obligatoire qui ne devait jamais être inférieur à 85 p. 100. Or, cette obligation entraînait comme conséquence la nécessité pour le meunier de laisser une certaine proportion de son mélangée à la farine. Nous ne nous étendrons pas sur la contradiction qu'il y avait entre ce décret et les lois citées plus haut qui interdisaient le mélange des sons aux farines. La seule question qui nous intéresse ici est de voir la

(1) P. Dumont. La législation concernant les céréales depuis le début des hostilités. *La Vie agricole*, 30 Juin 1917.

profonde différence qu'il y a entre ces farines du temps de guerre et les farines d'avant-guerre : dans la farine obtenue au cours d'expériences instituées par le Ministère de l'Agriculture et prise comme type de farine conforme au Décret du 3 Mai 1917, il avait fallu introduire des recoupettes pour arriver au taux d'extraction de 85 p. 100, de telle sorte que 1.000 kilogrammes de blé donnaient :

782 kg. 600 de farine
62 — 750 de recoupettes fines
4 — 650 de recoupettes
Soit : 850 kg. 000 de farine conforme au décret (1).

C'est à ce type de farines que se rapportent nos observations, et quand plus loin on lira « farines de meunerie », c'est de ces farines qu'il s'agira.

(1) *Annales des Falsifications et des Fraudes*, n° 107-108, Septembre-Octobre 1917. Farines et Pain par M. M. Toubeau.

LE PAIN

Nous n'insisterons pas sur les diverses opérations de la fabrication du pain.

Il suffit de dire qu'à la suite du délayage de la farine (environ 30 kgr. d'eau pour 100 de farine) en présence de sel (300 gr. pour 100 kgr.) et de cellules de levure, et d'un pétrissage énergique, qu'en termes de métier on divise en frasage et contre-frasage, la pâte qui en résulte, laissée à elle-même, subit la fermentation provoquée par la levure. Puis viennent le découpage, le pâtonnage ou disposition de la pâte suivant la forme qu'elle gardera définitivement, d'où les différentes variétés de pain (pain fendu, boulot, polka, de fantaisie, etc...) et enfin la cuisson qui dure de 35 à 40 minutes.

Les seuls temps de cette fabrication qui nous intéressent sont : la fermentation, le pétrissage et la cuisson. La question de la fermentation panaire est encore mal connue ; de plus, certains produits subissant la fermen-

tation, ne sont pas mentionnés ci-dessous, comme le sucre qui existe à l'état libre dans la farine. Quoi qu'il en soit, et avec les réserves nécessaires, nous donnons les conclusions de Chicandart.

D'après lui, la fermentation panaire n'agissait que sur le gluten. L'agent de la fermentation existerait dans le grain de blé sous forme de sphœro-bactérie mobile, le microzyma glutinis qui évolue à la longue en bacillus glutinis, évolution accélérée par la matière albuminoïde soluble, contenue dans la levure des boulangers.

Le gluten est rendu assimilable par le bacille grâce à une zymase qui rend le gluten soluble, puis l'hydrate en produisant de la peptone. Le bacille assimile cette peptone et fournit des produits d'excrétion nombreux : acide carbonique, hydrogène, azote, alcool, acides acétique, butyrique, lactique, leucine, tyrosine, phénol. L'amidon cru n'est modifié ni par le bacille, ni par la zymase. Seule, la cuisson forme de l'amidon soluble, des érythro-dextrines et des achroo-dextrines qui se rencontrent surtout dans les parties où la température aura été la plus élevée.

Cette fermentation panaire se produit toutes les fois qu'on met en présence de l'eau de la farine additionnée de levain ou de levure (1).

L'acide carbonique qui, nous venons de le voir, se dégage au cours de la fermentation, provoque la formation de bulles gazeuses dans le gluten qui, grâce à son élasticité, se laissera distendre encore plus par la vapeur

(1) Chicandart. *La fermentation panaire*, Octobre 1883.

d'eau produite par la cuisson, d'où l'aspect vésiculé, aéré du pain « bien levé ».

Au point de vue histologique, nous n'avons pas remarqué que cette fermentation ait une action quelconque sur les cellules à aleurone.

De même pour la cuisson. Nous verrons plus loin que nous nous sommes placé dans des conditions de température très voisines de celles de la pratique. Pour le pain, la température atteint 100° au niveau de la mie. Nous avons étudié l'action de l'eau bouillante sur des farines.

Il n'en est pas de même pour le pétrissage dans lequel nous voyons la cause principale des altérations importantes que nous avons observées sur des coupes de pain au niveau des cellules à aleurone et que nous décrirons plus loin.

Mais le pain n'est pas un produit toujours semblable. Son aspect et ses qualités varient beaucoup avec le taux d'extraction de la farine qui entre dans sa composition.

Si très généralement on admet que seules des farines de 66 à 70 p. 100, ne contenant aucun débris de l'enveloppe du grain, doivent être employées en boulangerie, des farines d'extraction supérieure, 80, 85 p. 100 et même davantage ont souvent été employées, notamment dans les périodes de crises comme celle que nous avons traversée pendant la guerre qui vient de se terminer.

Le même phénomène s'est produit pendant les périodes troublées de 1789, 1830, 1848, 1870. Mais il n'y a pas là seulement une question de fait, de nécessité. Il s'agit

de savoir si l'emploi des farines d'extraction élevée doit être réservé aux périodes où la farine devient plus rare ou bien adopté couramment même aux périodes de production normale, qui d'ailleurs en France est toujours insuffisante, puisque nous importons des quantités variant de 1.584.000 quintaux en 1876 à 19.545.000 en 1898 et n'en exportons que 10 à 20.000. Autrement dit, le pain obtenu avec des farines d'extraction élevée, et qui se rapproche plus ou moins du type appelé pain bis, doit-il être préféré comme qualité au pain blanc obtenu avec des farines à 70 p. 100 d'extraction ?

Les opinions à ce sujet ont été toujours aussi opposées que chaudement soutenues : « Tout le long du XIX^e^ siècle, si des savants ont soutenu que seule, l'amande farineuse du froment devait servir à l'alimentation économique de l'homme qui travaille, d'autres, et plus nombreux, ont périodiquement soutenu que le germe, le son pour partie ou en totalité, devaient être incorporés à la farine destinée à faire le pain » (1).

La question se ramène donc à savoir si les issues, habituellement écartées de l'alimentation humaine, ne contiennent pas une assez grande proportion de matières assez nutritives et assez digestibles pour pouvoir être admises dans la farine et s'il n'en résulte pas d'inconvénients pour l'homme.

Nous avons vu qu'en quantité, les matières nutritives contenues dans l'enveloppe étaient très appréciables puisqu'elles représentent en matières azotées, 1 p. 100,

(1) Fleurent. *Le pain de froment*, Paris 1911.

et en matières minérales 2 p. 1.000 du poids du grain, pour ne parler que de l'assise protéique. En qualité, il n'est pas besoin de démontrer la supériorité d'une matière albuminoïde telle que l'aleurone par rapport à l'amidon que représente l'albumen. Quant à la digestibilité, on verra dans la partie expérimentale qu'elle peut être parfaite, et c'est d'ailleurs avant d'exposer nos observations le point sur lequel nous insisterons ici en développant les arguments des partisans du pain blanc.

Parmi les auteurs qui ont proscrit le pain bis, Parmentier apportait comme argument l'impossibilité de rendre le son « aussi ténu que la partie farineuse », ce qui empêcherait d'avoir un « tout homogène » Il dit encore : « Le son introduit dans le pain fait du poids et non du pain ; il rend le pain lourd et mat et l'empêche de se conserver » (1). On sait que pendant la guerre, on a pu faire du pain avec des farines contenant une quantité notable de son. Si ce pain n'a pas toujours été l'idéal, cela prouve que les farines n'ont pas toujours été ce qu'elles peuvent être et que le pain était mal fait.

Péligot, qui d'ailleurs faisait partie avec Chevreul, Dumas, Pelouze et Payen de la Commission qui appuya les conclusions du rapport de Mège-Mouriès favorable à l'emploi des farines à extraction élevée (1860) signale l'inconvénient qui résulte pour la fabrication du « pain de moustier » de la présence dans ces farines « d'un excès de matière grasse qui s'oppose à une panification

(1) Parmentier. Rapport sur le pain des troupes, annoté par Poggiale. *Rec. de mémoires de méd. milit.*, 2e série, t. XVIII, 1856.

aussi bonne que celle que l'on obtient avec les farines de 1re qualité » (1).

A ranger dans cette série d'arguments tirés de la constitution chimique des différentes parties du grain de blé, la présence, au niveau de l'enveloppe, de la céréaline qui provoque l'altération des farines et donne au pain bis son aspect désagréable, empêche sa conservation, etc. (A. Girard et Lindet et auteurs cités par eux : Rathay, Kick, Vogl, Pappenhein, etc.). Mège-Mouriès avait cherché les moyens d'entraver l'action de la céréaline et nous verrons que pendant la guerre un procédé pratique, dans cet ordre d'idées, a été préconisé et employé avec succès. Quoi qu'il en soit, A. Girard et Lindet concluent : « Tous les procédés dans lesquels on se propose de faire concourir à l'alimentation humaine l'enveloppe des grains de froment sont sans utilité aucune. Des divers téguments, en effet, dont l'enveloppe est formée, aucun n'est digestible pour l'homme, assimilable, par conséquent, dans une mesure sérieuse. » Ce sont également les conclusions de l'auteur suivant :

M. Fleurent, dans son livre *Le Pain de Froment*, expose les arguments qui, selon lui, doivent faire préférer le pain blanc. Le premier est que « à rendement égal, la farine qui contient des débris de l'enveloppe et du germe donne toujours un pain plus aqueux que la farine blanche, ce qui se traduit par cette conséquence tout aussi générale : c'est que, sous le même poids, le pain bis renferme toujours moins de matière alimentaire

(1) *Journal de Pharm. et de Chim.*, 1850, p. 47.

réelle que le pain blanc ». Voici le second : « Lorsqu'on examine au microscope les fèces provenant de l'alimentation au pain blanc, on y rencontre seulement quelques particules d'amidon désintégrées reconnaissables par la coloration bleue qu'elles prennent au moyen de la teinture d'iode. Mais s'il s'agit de fèces provenant d'une alimentation au pain complet, on y rencontre, non seulement la totalité du son non modifié, mais des masses de matériaux renfermant des grains d'amidon tels qu'ils existent dans le produit initial et que les sucs digestifs de l'organisme ont respectés dans leur entier ».

En ce qui concerne le premier argument que nous voulons écarter, bien qu'il ne rentre pas dans le cadre de nos expériences, afin qu'au point de vue pratique on ne puisse pas nous l'opposer, nous citerons la réfutation des expériences de Snyder (1), sur lesquelles s'appuyait M. Fleurent, qu'a faite M. Lapicque : « Le rendement alimentaire du blé, la quantité de subsistance humaine que fournira une quantité donnée de blé, c'est non pas la valeur alimentaire du pain, mais le produit de cette valeur par la quantité de pain obtenue » (2).

Le second argument, qui s'appuie sur l'analyse microscopique des produits de digestion rentre dans la catégorie de ceux auxquels nous opposons les résultats de nos observations.

Les expériences de plusieurs auteurs qui suivent rassemblent, contre la possibilité de digestion de tous

(1) Studies on the digestibility and nutritive value of bread. *U. S. Dep. of Agriculture, Washington, Government printing office*, 1903 et 1905.

(2) Sur le taux de blutage et le rendement alimentaire du blé. *C. R. Acad. des Sciences*, T. CLXV, 24 Septembre 1917, p. 413-415.

les produits digestibles du grain de blé, des faits beaucoup plus probants, du moins dans les conditions où ont été faites ces expériences, que les faits de M. Fleurent cités plus haut. Nos observations, qui valent contre ceux-là, vaudront *à fortiori* contre ceux-ci.

On trouvera dans le travail d'A. Girard et Lindet, souvent cité le détail de ces expériences que nous allons résumer.

Poggiale (1), ayant ajouté dans une première expérience du son à la nourriture de deux chiens, a reconnu que le son recueilli dans les fèces n'avait perdu en matières grasses, amylacées et azotées que 23 p. 100 de son poids. Dans une autre expérience, ayant fait traverser par du son, successivement, le tube digestif de deux chiens et d'une poule, il trouve encore 3,52 p. 100 de matières azotées dans ce son.

Nous citerons textuellement la critique adressée aux expériences de Poggiale, par A. Girard et Lindet : « Aux expériences exécutées par Poggiale, on ne peut s'empêcher d'adresser une double critique : d'une part, ces expériences ont porté sur du son, c'est-à-dire sur l'enveloppe retenant attachée à sa face interne la moitié au moins de son poids d'amande farineuse nécessairement assimilable ; d'une autre, il est permis de se demander si, entre la puissance digestive des animaux, chiens ou poules, sur lesquelles elles ont eu lieu, et la puissance digestive de l'homme, n'existent pas des différences qui, en intervenant à ces essais, ont pu en modifier les résultats. »

(1) *Journal de Pharmacie et de Chimie*, T. XXIV, p. 198.

Le premier argument illustre d'une façon lumineuse la confusion dont nous avons parlé, qui s'est établie entre deux sens différents du mot son. Tantôt, quand il s'agit d'affirmer que le son est dénué de toute propriété nutritive, on tient pour démontré que le son n'est que de la cellulose et on prend pour prémisses ce qu'il faudrait démontrer; tantôt, devant des faits qui prouvent, même dans des conditions d'expériences où nous reconnaissons nous-même que l'enveloppe peut difficilement céder les matières assimilables qu'elle contient, que quelque chose disparaît de l'enveloppe, au cours de la traversée du tube digestif, on dit que le son est « l'enveloppe retenant attachée à sa face interne la moitié au moins de son poids d'amande farineuse ». Nous ajoutons, et on l'a vu, que c'est quelque chose d'infiniment plus riche encore. Quant au second argument, nous verrons ce qu'il faut en penser.

Quoi qu'il en soit, les expériences de Poggiale sont réputées démontrer la « non-digestibilité » de l'enveloppe.

Rathay (1), ayant ingéré pendant plusieurs jours, comme aliment solide exclusif, du pain de Graham (pain fait de grains entiers ou grossièrement concassés), retrouve, au microscope, les différentes membranes de l'enveloppe inaltérées. A. Girard et Lindet adressent cependant comme critique à ces expériences qu'elles ne comportent aucune analyse quantitative, seule capable d'apporter selon eux une précision suffisante dans les

(1) Rathay. Rapport annuel (1874) de l'Ecole de Lechsans-Klosterneuburg (Autriche), *loc. cit.* in A. Girard et Lindet.

conclusions. Les faits de Rathay sont parfaitement exacts et dans les conditions de ses expériences, l'enveloppe reste intacte comme nous le verrons. Le microscope permet des conclusions aussi précises que l'analyse chimique quantitative. On voit ou on ne voit pas, et puisqu'on admet que, dans toutes ces expériences, les matières dont la balance signale la disparition ont disparu par le fait de leur digestion, on peut conclure de même lorsque le microscope révèle leur disparition. Pour notre part, nous n'attacherons d'ailleurs d'importance au point de vue pratique qu'aux observations qui, portant sur l'homme, dans des conditions d'alimentation normale, avec du pain provenant de farines ayant subi une mouture spéciale, prouvent la digestion complète du contenu de l'assise protéique.

Enfin, A. Girard se soumit lui-même à l'expérience dont voici le résumé.

« Il a fait intervenir à son alimentation une quantité soigneusement pesée d'enveloppes pures de grains de froment, pour ensuite recueillir pendant 5 jours, peser et analyser les enveloppes rejetées à la suite du travail de la digestion. »

...Les enveloppes ont été lessivées à l'eau tiède pour les débarrasser des matières solubles.

Aimé Girard a ingéré, sans les soumettre à la mastication, une quantité d'enveloppes desséchées égale à 5 gr. 673 et formant un volume de 75 centimètres cubes environ.

Après évacuation, les enveloppes, « recueillies et lavées avec un soin extrême... ont été ensuite examinées une

à une (on en comptait près de 800)... ; un grand nombre d'entre elles portées sous le microscope n'ont laissé apercevoir dans la constitution et la proportion des diverses membranes aucune modification appréciable... ».

L'analyse chimique décèle une proportion de matières azotées qui atteint 15,62 p. 100 du poids des enveloppes. Or dans l'enveloppe entière séchée à 105°, l'analyse indiquait une proportion de matières azotées de 18,75 p. 100. Sur ces 18,75 p. 100, 2,40 avaient été enlevés par le lessivage. La quantité de matières azotées solubilisées par la digestion est donc (18,75 — 2,40) — 15,62 = 0,73 p. 100, c'est-à-dire « tout au plus le 1/100e du poids de l'enveloppe entière prise en son état naturel ».

Au point de vue histologique, il n'y a pas autre chose dans l'expérience d'Aimé Girard que la phrase citée plus haut. Etant donné que c'est sur le terrain histologique que nous nous plaçons, nous ne donnerons pas d'autres chiffres, car c'est surtout au point de vue quantitatif que se place Aimé Girard. Nous citerons seulement ses conclusions qui sont aussi celles de M. Lindet et qui sont d'autant plus importantes à connaître qu'elles sont plus catégoriques : « Si, après avoir établi, comme il vient d'être fait, quelles sont les proportions relatives de matières azotées et de matières minérales que l'enveloppe peut, dans sa traversée de l'appareil digestif, abandonner à nos organes, on porte d'abord son attention sur les matières azotées, et, si l'on remarque combien la quantité en est faible; si,

en outre, on réfléchit à ceci que la plus grande partie de ces matières azotées est constituée par des produits solubes dans l'eau, qui probablement n'ont qu'une bien faible valeur nutritive ; si l'on se souvient surtout que, parmi ces produits, figure la céréaline, c'est-à-dire le ferment découvert par Mège-Mouriès, qui saccharifie l'amidon, graisse la pâte et brunit le gluten, en donnant naissance au pain bis ; si l'on ajoute encore qu'au nombre de ces produits solubles figure très certainement l'agent qui, doué de propriétés laxatives, a si souvent fait échouer les tentatives d'emploi à l'alimentation générale du pain de farine entière (entire flour, pain complet, pain intégral, pain naturel) qui, au contraire, fait souvent, en Angleterre surtout, et pour certains états pathologiques, rechercher le pain de cette sorte ; si ensuite, donnant aux matières minérales digestibles que l'enveloppe contient toute l'attention qu'elles méritent, on réfléchit cependant qu'un gain de 4 grammes de matières minérales par kilogramme ne saurait en présence de la variété presque générale de l'alimentation moderne, avoir une importance sérieuse ; si l'on considère, en outre, que ce gain ne saurait, en aucun cas, compenser les inconvénients qui accompagnent, d'une manière nécessaire, l'intervention de l'enveloppe à la fabrication du pain ; si l'on groupe, en un mot, toutes les considérations que l'analyse et l'expérience fournissent, aucun doute ne saurait subsister sur l'inutilité de l'emploi à l'alimentation humaine de l'enveloppe dont le grain de froment est entouré ».

EXPÉRIMENTATION

L'ensemble de nos expériences porte sur le blé entier, les gros sons, les recoupettes, les farines, le pain, avant et après digestion, chez l'animal et chez l'homme.

Les résultats que nous donnons ici sont les conclusions de l'examen de plusieurs centaines de préparations. Ce n'est que par un examen répété que l'on peut acquérir une certitude touchant ces faits.

Blé.

Les expériences concernant le blé ont porté sur la souris, sur le chien et sur des digestions artificielles.

Souris. — Deux lots de deux souris ont reçu pendant une semaine, comme alimentation exclusive, du blé en grains à raison de 5 grammes environ par jour

et par animal. Nous ne disons pas que ce soit là la ration d'entretien exacte de l'animal. Mais cela est de peu d'importance puisque nos expériences ne portent que sur des résultats qualitatifs et non quantitatifs. En tous cas, cette ration permettait aux animaux de se maintenir en bon état apparent.

Les crottes de souris étaient prélevées dans le coin le plus propre de la cage, de façon que la surface ne fût pas parsemée de pellicules de son non digérées. Par plusieurs lavages à l'eau distillée, la surface était en tous cas bien nettoyée et les crottes, ramollies, étaient écrasées, doucement, à l'aide d'un bouchon de caoutchouc. On ne peut pas objecter que ce broyage pouvait altérer les cellules à aleurone, puisqu'on verra plus loin que, malgré lui, ces cellules, dans le cas présent, se montrent intactes.

Technique : nouet, fixation à l'alcool, coloration au vert d'iode-éosine-orange.

Un premier fait frappe à l'examen des préparations, c'est le nombre assez peu élevé de cellules à aleurone.

Etant donné les proportions de l'enveloppe et de l'amande farineuse, on devrait en trouver bien davantage. Mais la souris, pour manger le grain de blé, le tient avec ses 2 pattes antérieures et, le faisant pivoter autour de son grand axe, le décortique à l'aide des dents. Elle n'ingère donc de l'enveloppe du grain de blé que les quelques fragments restés adhérents à l'amande farineuse.

Deuxième fait important : parmi les cellules à

aleurone contenues dans une préparation, un grand nombre sont intactes.

Presque toujours, de grandes plaques de cellules sont adhérentes au péricarpe qui, vu par en-dessus ou par en-dessous suivant la position de la pellicule de son, est fortement coloré en bleu vert par le vert d'iode.

Enfin, malgré le grand nombre de cellules intactes, on en trouve qui sont altérées. Bien que ces altérations soient entièrement contingentes et qu'il soit difficile de décrire leur aspect d'une façon systématique, on peut ramener celui-ci à deux types principaux :

Dans un premier cas, de place en place, au milieu ou sur les bords d'un placard de cellules intactes, quelques cellules manquent complètement. Il ne reste même pas un fragment de la membrane.

Dans un deuxième cas, où les altérations sont plus complexes, le protoplasma semble éclairci, moins dense, les grains d'aleurone sont espacés les uns des autres. Ou bien, la cellule présente une ou plusieurs scissures séparant le protoplasma en deux ou plusieurs blocs compacts plus ou moins éloignés les uns des autres.

Enfin, avec ces deux types d'altérations se combine un autre type, une érosion marginale du protoplasme qui est comme mâchonné, déchiqueté sur les bords, de telle sorte que l'on trouve un des deux aspects décrits, ou deux, ou bien les trois réunis.

Nous avons dit que toutes ces altérations étaient contingentes et qu'aucune loi générale ne présidait à leur formation.

Elles apparaissent là où porte la dent de la souris et, suivant que la mastication est plus ou moins énergique, l'altération est plus ou moins importante. A cette action mécanique s'ajoute l'action des sucs digestifs qui, par les solutions de continuité de la membrane, détruisent une plus ou moins grande partie de l'aleurone.

Quoi qu'il en soit, il faut retenir que la digestion de l'aleurone par la souris dans le blé entier est négligeable, surtout si on la compare aux faits qui suivront, et qu'elle n'est possible que parce qu'une action mécanique préalable permet l'action des sucs digestifs.

Il y a donc ici une confirmation très nette des faits décrits par A. Girard. Tandis que dans son expérience, il prenait soin de ne pas soumettre à la mastication l'enveloppe du pain, la souris mâche le son. Partout où la dent brise la membrane cellulaire, il y a digestion, au moins partielle. Ce que A. Girard ne digérait pas, ce n'était pas l'aleurone, c'était la membrane de cellulose.

Chien. — La seconde observation porte sur le chien. Nous ne donnons, pas plus dans ce cas que dans le précédent, aucun chiffre relatif soit au poids de l'animal, soit à sa ration d'entretien.

Ce chien a reçu pendant un certain nombre de jours du pain fabriqué par le procédé Frugès de la façon suivante. Le blé, mis à tremper pendant 40 ou 50 heures dans de l'eau à 22-24°, renouvelée toutes les 4 heures, est ensuite broyé dans un appareil ressemblant à un hache-viande.

« Dans un cylindre horizontal, d'environ 0 m. 25 de

long sur 0 m. 10 de diamètre tourne une vis étamée à laquelle est fixée un couteau à 4 branches qui frôle une plaque filière en laiton, de 7 millimètres environ d'épaisseur ; cette plaque est percée de trous de 1 mm. 5 de diamètre écartés de 3 millimètres d'axe en axe. Les spires de la vis frottent, malaxent, écrasent les grains, et forcent le produit, analogue à du mastic, à passer par les trous de la filière, en dehors de laquelle et contre laquelle un couteau-détacheur à 4 branches tourne avec une vitesse de 2 à 3 fois plus grande que celle de la vis... »

[Annexe au Rapport du 21 Mars 1917 au Ministère de l'Agriculture de MM. Lindet, Fleurent, etc... Annexe : note de M. Ringelmann. Machine construite par M. Pensotti (Busto-Arrizio. — Italie)] (1).

Les fèces du chien ont subi la préparation suivante : Après avoir séjourné dans l'eau pendant environ une 1/2 journée, elles ont été triturées à l'aide d'un bâton, le plus doucement possible, contre les parois du récipient et le produit de cette trituration porté sur un tamis n° 100 a été soumis à l'action d'un jet de robinet de façon à réduire le tout en une bouillie de fragments s'isolant bien les uns des autres.

Macroscopiquement, les préparations diffèrent des préparations examinées dans le cas de la souris. Les fragments sont plus grands. Cependant la nourriture donnée au chien a subi un broyage énergique très brutal. Puisque dans le cas de la souris, les fragments sont plus fins, c'est que la mastication de la souris

(1) *Rapport inédit* de M. Legendre au Sous-Secrétaire d'Etat des Inventions.

donne un broiement supérieur à l'action de l'appareil décrit plus haut, plus la mastication du chien.

Microscopiquement, dans la majorité des cas, toujours pourrait-on dire, les cellules à aleurone sont intactes beaucoup plus qu'elles ne le sont dans le cas de la souris. Presque toujours, sous ou sur l'assise de cellules à aleurone, suivant que celle-ci est vue par sa face interne ou externe, on voit une assise de cellules allongées, colorées en vert, et qui est une des assises du péricarpe. Les cellules à aleurone sont restées adhérentes au péricarpe. Nous retrouverons ce cas et en verrons l'importance.

L'appareil a donc peu touché aux cellules à aleurone. Le chien, avalant gloutonnement, ne broie pas les pellicules de son que l'on retrouve dans les matières, sans altérations des cellules à aleurone. (Voir Planche I, fig. 1). Ce n'est que sur les bords des fragments, là où il y a eu action mécanique de l'appareil, que les cellules à aleurone ont disparu en partie ou complètement.

Digestion artificielle (1). — Dans ce troisième cas, les faits concordent pleinement avec les précédents. Il s'agit ici de digestion artificielle de blé entier.

Cette digestion est obtenue à l'aide du procédé suivant : On met à digérer du blé d'après la formule ci-dessous :

Produit à digérer cru.	5 gr.
Borate de soude.	1 gr.
Chlorure de calcium cristallisé.	0 gr. 30
Pancréatine Defresne	0 gr. 025
Eau distillée	100 cc.

(1) Devillers. — Détermination du résidu indigestible *in vitro* par la pancréatine agissant sur le blé ou ses produits de meunerie ou de boulangerie. *C. R. Acad. Sc.*, 29 Avril 1918, t. 166, p. 700.

On opère à 55° en agitant soigneusement. « Au bout de 3 heures, on porte lentement la température à 70°, puis rapidement à 120° à l'autoclave. On laisse revenir à 55°, on ajoute à nouveau 0 gr. 025 de pancréatine et l'on continue la digestion jusqu'à disparition vérifiée au microscope de toute coloration bleue par l'iode. On ajoute assez d'acide chlorhydrique pour obtenir une teneur de cet acide libre de 1 gr. 75 p. 1.000 dans le liquide tenu au voisinage de 35° à 40° et, après 1 heure de contact, on filtre, on lave le résidu et on pèse ».

C'est le résidu de ces digestions que nous avons examiné.

Dans ce cas comme dans le précédent, la grande majorité des cellules à aleurone est intacte. A l'aide du microscope binoculaire, on voit dans le champ des fragments de grandes dimensions qui ne présentent pas une seule cellule altérée.

Dans la série d'expériences qui précède, l'aleurone en général n'est pas digéré, sauf dans certains cas rares qui ont été signalés. D'ailleurs, pour ne rien préjuger du facteur des altérations décrites plus haut et ne pas faire intervenir le mot de « digestion », disons simplement que les cellules à aleurone se montrent intactes dans la grande majorité des cas. On peut objecter aux expériences précédentes qu'elles ne portent pas sur du son intact. Dans l'expérience des souris, la mastication, — dans celle du chien, la trituration du blé, la fabrication du pain, la mastication ou mieux la déglutition par le chien, — dans la digestion artificielle, l'écrasement du blé après sa macération sont autant de facteurs qui peuvent

altérer les cellules à aleurone et empêcher de considérer les expériences comme portant sur des cellules à aleurone normales.

Cette objection est sans valeur puisque, malgré ces traumatismes répétés, les cellules à aleurone se montrent le plus souvent intactes.

Ces premières expériences montrent déjà l'extrême résistance de la membrane des cellules à aleurone et confirment d'une façon très nette l'expérience d'A. Girard qui avait soin de ne faire agir les sucs digestifs que sur des cellules parfaitement intactes.

Farines.

Une seconde série d'expériences porte non plus sur du blé entier ni sur des produits obtenus, comme dans le cas du pain Frugès ou des digestions artificielles, par une trituration plus ou moins grossière du grain de blé laissant le son à l'état de pellicules de grandes dimensions.

Les expériences qui suivent portent sur un ensemble de produits qu'un peu arbitrairement peut-être nous rangeons tous sous l'étiquette de farines en ce sens qu'un certain nombre d'entre eux ont été obtenus par des procédés différents de ceux utilisés habituellement en meunerie. Ces derniers que l'on pourrait appeler produits de laboratoire, sont au nombre de deux : nous les désignerons farine A, et farine B, obtenues au Laboratoire du Muséum.

Les farines de meunerie sont au nombre de 3 : farine méthode (du nom donné à cette farine par le fabricant M. D..., qui avait proposé un procédé de fabrication spécial consistant en une remouture des sons. Au moment où M. D..., faisait cette proposition, ce procédé était déjà mis en pratique). Puis, farine S..., farine de meunerie employée couramment en boulangerie, fabriquée au moulin d'Ollainville, et qui servait à la fabrication du pain que nous consommions, et, enfin la farine H..., autre farine courante.

Les premiers types de farine A et B étaient obtenus au Laboratoire du Ministère des Inventions par deux procédés, l'instrumentation restant la même dans les deux cas. Elle se composait d'un broyeur, en l'espèce un moulin à café de grand modèle et d'un convertisseur. On connaît la disposition des moulins à café. Le grain, entraîné dans les tours de spire d'une lame tranchante hélicoïdale est pris entre le tranchant et la paroi de l'appareil disposée soit en entonnoir, soit en forme de cylindre. Le convertisseur se composait essentiellement de deux cylindres lisses tournant en sens inverse l'un de l'autre à des vitesses différentes.

La farine A était obtenue au moyen d'un seul broyage sans convertissage, à partir de blé d'Australie, le son étant recueilli après tamisage sur tamis n° 70.

La farine B était obtenue, à partir de blé d'Australie également, au moyen de plusieurs broyages et de plusieurs convertissages. Même tamis.

Quant aux farines de meunerie, elles se caractérisent

par les particularités, spéciales aux farines du temps de guerre, que nous avons signalées.

Procédés d'examen.

1° *Examen dans l'eau physiologique.* — Nous avons d'abord examiné un certain nombre d'échantillons dans l'eau physiologique pour éviter, autant que possible, l'action de tout facteur nuisible aux cellules à aleurone. Il est très difficile par cette simple méthode de se bien rendre compte de l'état des cellules. L'amidon et le gluten, collés à la surface des cellules forment des masses compactes et opaques qui gênent l'examen, sauf dans quelques cas très rares où des cellules situées à la périphérie des fragments sont parfaitement distinctes. D'ailleurs, dans ce cas que nous avons déjà rencontré et qui se caractérise par l'existence d'érosions marginales, la cellule est rarement intacte et le plus souvent vide.

2° *Examen dans l'eau après lavage à l'eau ammoniacale.* — Ce procédé a pour but de débarrasser la surface interne des pellicules de son du gluten qui en présence de l'eau forme avec l'amidon la masse adhérente et opaque signalée au paragraphe précédent. Après tamisage des farines à examiner, nous avons placé le son recueilli dans l'eau ammoniacale à 2 p. 1.000, pendant 1 heure 1/2. Le flacon qui le contenait était animé à l'aide d'un appareil spécial d'un mouvement de bascule d'environ un tour à la seconde. L'eau ammo-

niacale dissout le gluten. Par une série de lavages et de décantations, on se débarrasse ensuite de la majeure partie de l'amidon (1). Les plages de cellules à aleurone sont alors parfaitement propres. On peut les examiner sans coloration et les préparations, montées à la glycérine et lutées se conservent très bien. Cependant on note au bout de quelques jours un épaississement des membranes cellulaires qui devient rapidement stationnaire. Malgré tout, ce procédé est surtout utile pour un examen extemporané. Ayant eu l'occasion d'examiner des sons qui avaient séjourné environ 24 heures soit dans l'eau ordinaire, soit dans l'eau distillée et qui se présentaient, sauf dans quelques détails négligeables, sous le même aspect que ceux traités à l'eau physiologique, l'emploi de celle-ci ne nous a pas paru indispensable et les échantillons suivants ont été traités à l'eau distillée.

3° *Examen après coloration.* — L'examen en dehors de toute coloration ne permet qu'une analyse grossière des cellules à aleurone. Elle permet de juger de leur état de plénitude ou de vacuité, mais non des altérations fines du protoplasma ou de la membrane.

Nous avons coloré un certain nombre d'échantillons sans lavage à l'eau ammoniacale qui gêne la coloration, même après neutralisation vérifiée au papier tournesol, de l'excès d'ammoniaque. Sans doute alors, comme on l'a déjà vu, le gluten et l'amidon gênent l'examen. Mais on peut trouver à la périphérie des fragments quelques cellules suffisamment transparentes.

(1) Procédé imaginé par M. Barbé.

La coloration employée dans la presque totalité des cas était le vert d'iode-éosine orange. L'aspect des cellules à aleurone est très différent suivant le produit examiné.

La farine A présente le plus souvent de grandes plages de cellules à aleurone complètement intactes. Seuls les bords des fragments, plus ou moins irréguliers, présentent des altérations plus nombreuses. Nous retrouvons donc ici un aspect analogue à ceux déjà décrits au sujet des grains de blé. Il y a une certaine ressemblance entre les actions mécaniques qui intervenaient au cours de la préparation du pain Frugès et celles qui interviennent dans la préparation de la farine A. Il est donc assez logique de voir dans ce fait la cause de la similitude des altérations qui surviennent au niveau de la cellule à aleurone dans ces deux cas.

Les sons de la farine B se présentent sous un aspect tout à fait différent. Ici encore, on trouve à la périphérie d'un grand nombre de fragments des cellules vides de leur contenu. Mais l'aspect caractéristique est le suivant :

Sur le même placard de cellules, on trouve, le plus souvent adhérentes au péricarpe, à côté d'un groupe de cellules à aleurone intactes, pleines, sans altérations apparentes, du moins à un premier examen, un autre groupe de cellules à moitié vides de leur contenu. On distingue très nettement des paquets de grains d'aleurone disséminés dans le champ cellulaire et séparés les uns des autres par des plages colorées en vert par le vert d'iode et qui ne sont que les zones du péricarpe devenues visibles par suite de l'éclaircissement du champ des cel-

lules à aleurone sus-jacentes D'autres fois, lorsque le placard des cellules à aleurone est détaché en bloc du péricarpe, ce n'est plus un fond vert qu'on aperçoit, mais le fond lumineux du champ microscopique vide.

A un faible grossissement, ces cellules à moitié vides ont un aspect beaucoup plus brillant, lumineux, que les cellules intactes. Les groupes juxtaposés des unes et des autres forment une sorte de damier tout à fait caractéristique de la farine B. Les farines de meunerie ont un aspect analogue avec cependant un plus grand nombre encore de cellules altérées.

Outre ces altérations protoplasmiques, les farines B et les farines de meunerie présentent d'autres altérations extrêmement importantes au niveau des membranes des cellules à aleurone. Ces altérations peuvent se ramener à deux types principaux. Le premier consiste en une sorte d'arrachement d'un des côtés de la membrane. Les fragments, écartés l'un de l'autre, flottent dans le champ cellulaire. Il y a communication très large d'une cellule à l'autre et, par ce passage, les grains d'aleurone d'une cellule se mêlent quelquefois à ceux d'une cellule voisine. Ces altérations, fréquentes sur les fragments de son les plus petits, se rencontrent moins souvent sur les fragments plus volumineux. Elles sont moins fréquentes dans la farine B que dans les farines de meunerie. Enfin on les rencontre surtout sur les plaques de cellules à aleurone qui sont détachées du péricarpe et où celui-ci n'a pas pu jouer un rôle en quelque sorte de protection contre la violence des actions mécaniques.

Le second type d'altérations ne se présente plus sous

l'aspect de grands délabrements, d'arrachement de la membrane, mais de fêlures, au niveau desquelles les fragments restent au contact les uns des autres, sans laisser de large ouverture entre eux. Pour se servir de comparaisons qui fassent bien comprendre ce dont il s'agit, on peut emprunter leurs termes aux descriptions classiques des fractures osseuses. Tantôt, il s'agit d'une fracture en rave : la section est perpendiculaire au grand axe d'un des côtés de la membrane et les extrémités des deux fragments restent très rapprochées. Tantôt, c'est la fracture en bec de flûte : ce trait de fracture fait alors un angle plus ou moins aigu avec le grand axe du côté fracturé. Ou bien, on a seulement la fracture en bois vert, et c'est seulement la table externe qui a éclaté; la table interne a résisté et la continuité de la membrane existe encore. Enfin d'autres fois, les deux fragments sont écartés l'un de l'autre, mais restent unis par des tractus plus ou moins enchevêtrés.

Ces altérations de la membrane sont extrêmement fréquentes. On les trouve sur environ 9/10^{e} des cellules par conséquent au niveau des groupes de cellules restés adhérents au péricarpe aussi bien qu'au niveau des groupes cellulaires détachés du péricarpe où prédominent d'ailleurs les altérations beaucoup plus importantes déjà décrites.

Pour étudier les altérations du second type, on peut se servir d'un procédé qui a peut-être l'inconvénient, par le surcroît de manipulations qu'il exige, d'augmenter les altérations préexistantes, mais qui permet de voir rapidement ces altérations, d'établir par exemple

un pourcentage. On met le son dans l'eau ammoniacale, et l'on fait bouillir plusieurs fois le mélange de façon à former de l'empois d'amidon. On dissout l'empois et on filtre après chaque ébullition. Après quelques filtrations, le liquide reste clair. En tous cas, il ne reste plus assez d'amidon dans le son pour gêner l'examen. Enfin on reprend ce son sur le filtre et on le lave dans une solution d'acide chlorhydrique à 1 p. 100 qui dissout les sels (1). Il ne reste ainsi que les membranes des cellules à aleurone, très réfringentes. En diaphragmant, on voit d'une façon très nette toutes les altérations décrites plus haut et dont rendent compte certains aspects des planches.

Ce procédé et le simple lavage à l'eau ammoniacale, très utiles pour examiner les membranes, ne doivent pas être employés lorsqu'il s'agit de juger de l'état du protoplasme. L'eau ammoniacale, en pénétrant par les fissures, altère le contenu des cellules et en dénature l'aspect.

Ebullition. — Nous avons signalé dans le paragraphe précédent l'emploi de l'ébullition. On pourrait objecter que c'est elle qui provoque, tout au moins en aussi grand nombre, l'apparition des altérations décrites. Mais l'aspect des altérations que nous avons observées après l'ébullition est tout à fait analogue à celui des altérations que nous avons observées en dehors de l'action à l'eau bouillante. Elles paraissent être en nombre sensiblement égal. De plus, il ne paraît pas que l'ébullition

(1) Procédé imaginé par M. Barbé.

augmente beaucoup l'importance des altérations existantes.

Nous avons examiné d'une façon systématique l'action de l'ébullition sur toute une série de produits : gros sons provenant du laboratoire, sons obtenus à partir des farines de meunerie du temps de guerre par simple tamisage, ou par tamisage et lavage à l'eau ammoniacale. Ces différents produits étaient mis dans un tube à essais et portés à l'ébullition pendant des temps variables, entre 5 minutes et 1/4 d'heure ; nous avons eu soin de ne pas prendre les fragments de son qui étaient entraînés, pendant l'ébullition, sur les parois du tube, où la température n'atteignait pas 100, et de ne prélever à l'aide d'une pipette que les fragments plongés dans le liquide. On verra l'importance de cette question de température lorsqu'il s'agira du pain, les arguments que l'on pourra tirer du mode d'expérimentation qui vient d'être signalé, l'objection que l'on peut opposer et ce qu'on peut répondre. Disons dès maintenant que les résultats obtenus nous paraissent tout à fait valables et de nature à permettre d'en tirer des conclusions.

Sur les sons de farines de meunerie (farine méthode, farine S..., farine H...), et de farine B, nous avons observé après action de l'eau bouillante, des altérations protoplasmiques des cellules à aleurone tout à fait comparables à celles que nous avons décrites à propos de farines non bouillies : aspect clairsemé, disposition en damier.

Sur les sons du laboratoire (farine A), après ébullition, nous avons remarqué par endroits quelques altérations du protoplasme, le plus souvent dans des

plaques de cellules détachées du péricarpe et au niveau de quelques cellules présentant exceptionnellement une de ces fractures de la membrane si fréquentes dans les farines de meunerie et la farine B.

L'aspect d'ailleurs est très différent, entre les deux sortes de son, après l'ébullition comme il l'était avant.

L'ébullition ne paraît donc pas avoir une action très nette et l'on peut admettre que les altérations qu'elle provoque parfois ne sont possibles que grâce aux lésions préexistantes de la membrane.

Nous verrons, à propos du pain que, avant la cuisson interviennent des actions mécaniques importantes de nature à expliquer mieux que la cuisson l'aspect des cellules à aleurone dans le pain.

En résumé, avant d'étudier l'action des sucs digestifs sur les différents types de farines signalés, nous croyons avoir montré assez nettement que l'aspect des cellules à aleurone dépend avant tout des actions mécaniques auxquelles elles ont été soumises.

Pour les farines du laboratoire, les farines A, un seul broyage, pas de convertissage, cellules à aleurone généralement intactes. Pour les farines B, plusieurs broyages et convertissages, mais cependant beaucoup moins nombreux que dans la meunerie et avec des appareils qui donnent une mouture beaucoup moins fine : cellules à aleurone plus altérées que dans les farines A mais beaucoup moins que dans les farines de meunerie, (farines, méthode, S..., H...), dont on connaît la fabrication, et qui pendant la guerre, étaient soumises à une remouture des sons.

Digestion des farines et des produits issus de farines.

1° Digestion par le chien de farines de meunerie.

2° Digestion par la souris de farines pulvérulentes.

3° Digestion par la souris de farine, à l'état de pâtons après fermentation à 37°.

4° Digestion par la souris de farine à l'état de pâtons après cuisson à 100°.

5° Digestion par le lapin et le cobaye de son de farine A.

1° ***Digestion par le chien de farines de meunerie (farine H).*** — Ces farines ont été ajoutées simplement, sans préparation d'aucune sorte, à la pâtée d'un chien. On a vu quel était l'aspect de ces farines de meunerie. Après digestion, cet aspect reste sensiblement le même. La quantité de placards de cellules à aleurone est relativement beaucoup moins grande ici que lorsqu'on examine des farines non digérées.

Mais sur ceux qui se trouvent dans le champ du microscope, les cellules à aleurone ne paraissent pas avoir subi de modifications importantes.

° ***Digestion par la souris de farines pulvérulentes.*** — 3 lots de souris ont reçu comme alimentation exclusive pendant 4 jours, le 1er du son provenant de la farine A, le 2e de la farine B, le 3e de la farine S. Les crottes n'ont été prélevées que deux jours après le début de cette alimentation de façon à n'avoir dans les préparations examinées que les résidus des farines en question.

Ces crottes ont été recueillies ainsi qu'il a été déjà

indiqué. De plus, elles ont été soumises à un nettoyage minutieux avec un pinceau humide de façon à enlever de la surface les quelques fragments qui auraient pu y subsister.

a) *Sons de farine* A. — Peu de cellules à aleurone digérées. L'aspect rappelle celui des cellules à aleurone décrites après digestion du blé entier, avec cette différence que les cellules complètement vides sont plus nombreuses, et que l'on trouve assez rarement des cellules à moitié vides.

Rarement aussi, des fragments présentent la presque totalité de leurs cellules altérées, et dans ce cas, on peut constater, au microscope binoculaire, que ces fragments sont d'une dimension sensiblement égale à celle d'une molaire de souris. Ces fragments ont été pris, sur toute leur surface entre deux molaires qui ont broyé toutes les cellules qui ont été détruites, soit mécaniquement, soit par les sucs digestifs dont la pénétration a été facilitée par les multiples solutions de continuité des membranes (Voir Planche I, fig. 2).

b) *Farines de meunerie*. — 1re expérience. 2 lots de 2 souris ont été alimentés une première fois avec de la farine méthode pendant 8 jours.

2e expérience. Les 2 mêmes lots ont reçu de la farine S pendant 5 jours.

Comme précédemment, nous avons attendu avant de prélever les crottes à examiner 2 jours à partir du début du régime, ces 2 jours n'étant comptés ni dans les 8, ni dans les 5 jours et les produits de digestion étant examinés chaque jour.

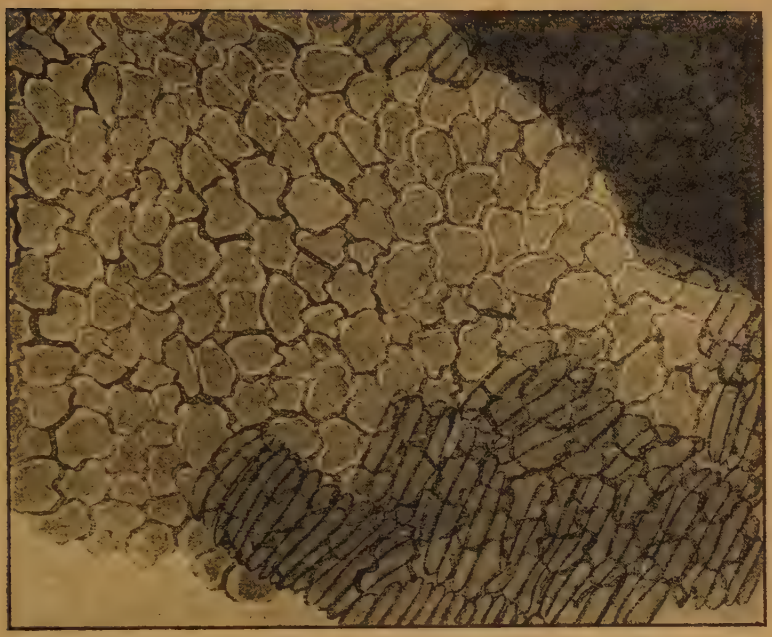

Fig. 1. — Digestion de blé par le chien.

Fig. 2. — Digestion de farine par la souris.

Mêmes précautions dans le prélèvement que celles indiquées plus haut.

Deux faits extrêmement importants frappent à l'examen des préparations : l'altération très profonde des cellules à aleurone et le très grand nombre de cellules sur lequel porte cette altération.

Les placards de cellules ou plutôt de ce qu'il en reste sont de plus petites dimensions que dans le cas de la farine A, et il n'y en a pour ainsi dire pas qui soient intacts. Ce ne sont plus 15 à 20 p. 100 des cellules qui sont altérées comme dans le cas de la farine A, mais 90 à 95 p. 100. Ces altérations sont extrêmement variées et très profondes. Les altérations de la membrane sont celles que nous avons déjà décrites dans les mêmes farines avant digestion. Souvent, des fragments de membrane aberrants ont perdu toute connexion avec le reste de la membrane.

Un autre aspect fréquent est le suivant : Un placard de cellule ne garde que des membranes absolument vides de leur contenu, formant une série de cadres juxtaposés. Il n'y a plus la moindre trace de granulations. Les cellules semblent avoir été décapitées par un de leurs pôles, — cette extrémité, comme abrasée a entraîné avec elle toute la cellule dont on ne voit plus que le cadre formé par le contour cellulosique de l'extrémité restée adhérente au péricarpe. — Quoi qu'il en soit du facteur qui intervient dans la production de ce type d'altération et de son mode de production, nous pensons avoir fait comprendre l'aspect ci-dessus décrit.

c) *Farine B.* — L'état des cellules à aleurone y est

intermédiaire entre celui de la farine A et celui de la farine S.

Les cellules à aleurone qui ont résisté à la digestion forment avec celles qui sont vides des sortes de damiers, aspect que nous avons déjà décrit dans les farines non digérées. Mais ici, on trouve rarement des cellules à moitié vides. Les cellules claires des damiers sont absolument vides de telle sorte que le contraste entre les cellules claires et sombres est beaucoup plus tranché qu'avant la digestion.

De l'ensemble de ces faits, on peut retenir que la digestion de l'aleurone ne se fait que lorsque la solution de continuité des membranes est assez large pour permettre l'action immédiate des sucs digestifs. On peut objecter aux expériences précédentes et à leur interprétation que, si dans le cas du blé entier les cellules à aleurone résistent parce que leurs membranes sont intactes, elles devraient être digérées chaque fois que la membrane est altérée comme dans les farines de meunerie. On peut négliger l'action de la mastication de la souris qui s'est montrée inefficace lorsqu'il s'agissait de blé entier.

Or nous avons vu que l'état des membranes cellulosiques dans les farines de meunerie était très variable, allant de la simple fêlure jusqu'aux grands délabrements avec large passage d'une cellule à l'autre et nous avons vu dans ce fait la condition de l'aspect du protoplasme avant la digestion, de l'aspect en damier.

Les cellules claires étaient précisément celles qui présentaient les altérations les plus importantes de la

membrane; — ce sont elles qui sont totalement digérées. Nous avons en effet montré que dans les damiers, on ne rencontrait plus de cellules à moitié pleines au niveau des parties claires, mais que ces cellules étaient complètement vides.

Il faut donc voir une fois de plus dans les altérations d'origine mécanique préexistantes la condition de la digestion de l'aleurone.

Si toutes les cellules dont, dans 90 pour 100 des cas la membrane est altérée, mais assez souvent d'une façon légère, — (au niveau des cellules sombres des damiers), — ne sont pas digérées, il faut voir la raison de ce fait dans le séjour extrêmement court du bol alimentaire dans l'intestin de la souris.

Les sucs digestifs n'agissent que là où la porte est assez grande ouverte pour leur permettre d'entrer et, s'ils parviennent à entrer, pour permettre aux produits de digestion de gagner l'intestin.

3° ***Digestion par la souris de farines à l'état de pâtons après fermentation à 37°.*** — Ces pâtons consistaient en une masse de pâte faite, sans pétrissage, de farine A ou de farine de meunerie, mise en présence de levure dont on se sert habituellement en boulangerie pendant 24 heures à l'étuve à 37°. Après alimentation de souris avec ces pâtons, l'examen des préparations n'a révélé aucune différence entre leurs produits de digestion et ceux de la digestion des farines. La fermentation ne semble donc avoir aucune action sensible sur les cellules à aleurone.

4° ***Digestion par la souris de pâtons après cuisson à 100°.*** — Même observation que ci-dessus. La cuisson

ne semble pas jouer un rôle important au point de vue qui nous occupe.

Nous verrons au contraire que lorsqu'un pétrissage énergique intervient, comme dans la fabrication du pain, les résultats sont tout à fait différents.

5° ***Digestion par le lapin et le cobaye de son de farine A.*** — Les préparations ont le même aspect que dans le cas de la souris, la proportion de cellules à aleurone intactes est la même.

Les cellules à aleurone dans le pain.

Nous n'avons pas décrit dans la première partie l'aspect des cellules à aleurone dans le pain. Nous ne connaissons pas en effet d'observations concernant cette question et les altérations frappantes des cellules à aleurone dans le pain nous semblent entraîner leur digestion d'une manière si nécessaire qu'il nous paraît préférable d'exposer à la suite nos observations concernant ces faits.

De nombreux essais de coloration sur du pain réduit autant que possible en bouillie ne nous donnèrent aucun résultat. Cependant, un examen minutieux nous avait fait remarquer, colorées vivement en rouge par l'éosine, certaines masses, — nous ne disons pas cellules, tellement dans un magma indescriptible il était impossible de distinguer quelque chose qui eût un aspect reconnaissable, — assez régulières et qui ressemblaient vaguement à des cellules à aleurone vues de champ. Cela nous fit penser que, dans le pain, les pellicules de son se trou-

vaient orientées dans tous les sens et que des coupes soit à main levée, soit au microtome, auraient des chances de montrer des coupes de pellicules placées de champ dans la pâte et dont l'aspect pourrait être très net.

Le pain frais se prête mal à des coupes à main levée. La mie trop molle fuit sous le rasoir. Il faut choisir du pain rassis ; — on découpe des fragments que l'on glisse dans le microtome à main de la même façon que de la moelle de sureau. Il est facile de reconnaître que le pain a la consistance voulue pour faire de bonnes coupes, grâce à l'aspect brillant, comme celui d'une matière cornée, de la surface de section.

Mais pour avoir des coupes minces, il est préférable de recourir à des inclusions après fixation au Bouin.

Les coupes de ces inclusions peuvent être traitées au vert d'iode-éosine orange. Mais la coloration qui nous a donné les meilleurs résultats est la suivante :

Après passage assez rapide dans le vert d'iode, puis après lavage, dans le vert lumière, on laisse les coupes dans le ~~vase~~ Van Gieson pendant environ 10 minutes, puis après lavage dans le rouge neutre pendant environ 5 minutes.

Après alcool et xylol, on monte au baume.

Les diverses couches de l'enveloppe sont très nettement différenciées. Les assises du péricarpe sont colorées en rouge violacé, lie de vin, — la membrane des cellules à aleurone en rose pâle, — la bande hyaline est verte et les cellules à aleurone sont ocre.

L'aspect des cellules à aleurone varie avec la variété de pain examinée.

Sur des coupes de pain de son, fait avec du son de farine A, les cellules à aleurone se montrent intactes très souvent.

Sur des coupes de pain de farine S., c'est-à-dire de farine de meunerie de guerre, utilisée couramment en boulangerie, les cellules à aleurone sont très altérées, presque toujours.

Souvent, sur les pellicules qui sont orientées de champ, une fracture complète existe qui sépare la pellicule en deux fragments. Au niveau de la fracture, les différentes assises du péricarpe sont plus ou moins disjointes, éloignées les unes des autres. Les cellules à aleurone qui bordent la fracture sont très altérées. Elles ont quelquefois presque entièrement disparu. Il ne reste que de très courts fragments des parois inter-cellulaires adhérents à la partie externe de la membrane (Voir planche II, fig. 1).

Les autres cellules à aleurone, quoique moins altérées, présentent cependant un aspect tout à fait caractéristique. Les parois intercellulaires sont en général intactes, tandis que la partie de la membrane qui est en contact avec l'amande farineuse est ou bien absente, ou bien détachée du reste de la membrane à la façon d'un clapet. Le protoplasme quelquefois d'aspect normal, s'échappe souvent par cette porte ouverte comme une coulée, dans la pâte voisine.

Sur un fragment de quelques millimètres carrés, on trouve un assez grand nombre de ces fragments d'enveloppe disposés de champ. A un faible grossissement même, ils sont facilement reconnaissables sous forme

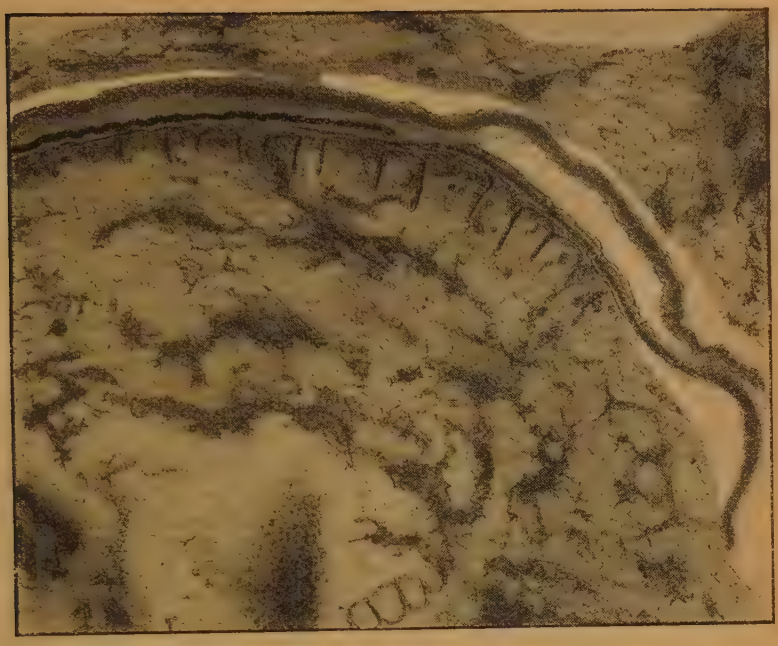

Fig. 1. — Coupe de pain.

Fig. 2. — Digestion de pain par l'homme.

BESSIN *delineavit*. **Librairie Littéraire et Médicale.**

d'arcs de cercle dont la concavité correspond à l'assise protéique et la convexité au péricarpe.

On voit donc que l'état des cellules à aleurone n'est pas le même dans le pain de son de farine A que dans le pain de farines employées en boulangerie.

Sans doute ce que nous avons dit du mode de fabrication de la farine A explique assez que dans le pain fait avec le son de cette farine on trouve des cellules à aleurone très souvent intactes.

Mais dans ce cas, si l'état des cellules à aleurone du pain doit rappeler celui des cellules à aleurone telles que nous les avons vues dans la farine, nous ne devrions pas observer une différence aussi grande entre les cellules à aleurone de la farine S et du pain fait avec la farine S; de même que nous n'en avons observé presque aucune entre les cellules du son de la farine A et celles du pain fait avec ce son.

Or, nous avons vu, à propos des farines, que ni la fermentation, ni une température de 100°, — c'est-à-dire celle de la cuisson du pain, — n'avaient d'influence au moins apparente au microscope, sur l'état des cellules à aleurone. Il reste donc un seul facteur dont l'intervention puisse nous faire comprendre la raison de la différence signalée entre le pain de son de farine A et le pain de farine S : le pétrissage.

Après avoir soumis à un pétrissage énergique entre les doigts, des pâtons de farine A et de farine S, après avoir dissout le gluten à l'eau ammoniacale de façon à libérer le son emprisonné dans la pâte et soumis le résidu à des lavages et décantations successifs, de

façon à nous débarrasser de l'amidon et à recueillir le son, nous avons remarqué que les cellules à aleurone étaient beaucoup plus altérées dans le cas de la farine S que dans celui de la farine A.

On pourrait objecter que cette différence avait été signalée avant l'action du pétrissage. Une différence existait déjà, mais pas aussi marquée qu'après le pétrissage. Il n'y a pour ainsi dire pas de différence entre le son de farine A avant et après pétrissage ; il y en a une très grande dans le cas de la farine S.

Nous ne voyons d'autre raison de ce fait que dans l'existence de ces nombreux traits de fracture que nous avons décrits dans le son des farines de meunerie. Il y a là une altération préexistante qui favorise l'action ultérieure des facteurs d'ordre mécanique, tels que le pétrissage. Au contraire, nous avons vu que ces fractures n'existent pas au niveau des membranes des cellules à aleurone du son de farine A. Le pétrissage ici n'a pas d'action. Il ne peut en avoir que sur des cellules préalablement altérées et qui ne peuvent plus résister aux actions mécaniques.

Il est difficile d'admettre que les résultats soient très différents du pétrissage tel que nous l'avons pratiqué sur de petites quantités de pâte et du pétrissage des boulangers. Celui-ci est au moins aussi énergique : le gluten forme une masse très adhérente qui est brassée avec une grande force, que ce soit à bras ou avec un pétrin mécanique, et cette masse résistante, élastique, opère des tractions en tous sens qui peuvent suffire à expliquer les altérations des cellules à aleurone, dans

le pain de consommation courante pendant la guerre.

Digestion des cellules à aleurone du pain.

1° ***Pain de son de farine A. Digestion par la souris.*** — On trouve dans le champ du microscope un certain nombre de placards de cellules à aleurone. Là où a porté la dent de la souris, les cellules à aleurone sont ou altérées ou absentes. Mais beaucoup de cellules ont encore leurs granulations.

2° ***Pain de farine S.*** — a) *Digestion artificielle.* — Au sujet de la technique suivie, nous renvoyons à ce que nous en avons dit pour la digestion artificielle des farines.

L'aspect des cellules est très variable. Assez souvent, il ne reste à la place des cellules et dans le cadre formé par les membranes que la coloration rouge due à l'éosine, mais sans granulations. D'autres fois, les cellules sont comme à moitié vides. Il n'y en a peu d'intactes. Mais la digestion est très incomplète.

b) *Souris.* — Il n'y a plus que de très rares cellules à aleurone dans le champ de la préparation. On peut dire que dans l'ensemble elles sont toutes digérées. Cependant on en trouve quelques-unes de place en place. La digestion est donc plus complète que dans le cas précédent, mais moins que dans le cas suivant.

c) *Homme.* — Aucun changement n'a été apporté à l'alimentation. La quantité de pain absorbée était de 5 à 600 grammes en 24 heures. Les matières étaient

recueillies dans un vase contenant de l'eau et quelques fragments de camphre de façon à éviter toute fermentation secondaire.

Pour la préparation de ces matières, le procédé était celui qui a déjà été décrit à propos du chien.

Dans tous les examens, il nous a été à peu près impossible de découvrir des cellules à aleurone. Cependant, au milieu des débris de toute nature, vaisseaux spiralés, fragments cellulosiques, fibres élastiques animales, etc., on trouve de nombreux fragments de péricarpe. Mais si nous avons trouvé quelques îlots, — quatre ou cinq sur une cinquantaine de préparations, — de trois ou quatre cellules en apparence intactes et qui n'ont vraisemblablement résisté que grâce à l'intégrité de leurs membranes, l'ensemble des cellules à aleurone a été complètement digéré (Voir Planche II, fig. 2).

La digestion est donc ici plus complète que dans le cas de la souris et surtout que dans celui de digestion artificielle. Il faut sans doute faire intervenir là une différence d'activité des sucs digestifs, et peut-être aussi, pour l'homme, une influence plus considérable de la mastication que chez la souris.

Quoi qu'il en soit, on peut admettre que dans les farines du temps de guerre, où le contact des sucs digestifs avec des cellules à aleurone a été rendu très facile, étant donné les larges voies d'accès qui leur sont ouvertes au niveau des membranes, toutes les cellules à aleurone sont digestibles. Dans le pain, elles ne sont plus seulement digestibles, mais en fait, sont totalement digérées.

LES CELLULES A ALEURONE ET LE PAIN BIS

On a vu dans la première partie qu'elle était l'opinion des adversaires du pain bis au sujet de la digestibilité des cellules à aleurone. Ils veulent éliminer l'enveloppe du grain de blé de la farine parce que les substances qu'elle contient sont, disent-ils, inassimilables, et ensuite parce que sa présence est la source de nombreux inconvénients : troubles digestifs, mauvaise conservation, aspect désagréable du pain, etc.

Ces conclusions sont tirées d'expériences qui se résument toutes dans celle d'A. Girard et aboutissent à cette conséquence pratique : la nécessité absolue de ne fabriquer qu'une farine la plus blanche possible, totalement exempte de tous débris d'enveloppe et de germe.

Or, on a vu qu'A. Girard avait fait porter ses expériences sur des fragments d'enveloppes soigneusement préparés, choisis et absorbés sans mastication. Les résultats qu'il a obtenus sont parfaitement exacts. Dans ces conditions, les cellules à aleurone ne sont pas

digestibles. De même, Rathay (1) a montré que ces cellules sont inassimilables dans le pain de Graham. De même, dans nos observations, les cellules à aleurone du grain de blé entier, du pain Frugès, ne sont assimilées que dans des proportions insignifiantes.

Mais, si l'on ne s'adresse plus à des enveloppes manipulées avec des précautions de laboratoire ou bien à des produits alimentaires où le grain de blé se retrouve presque à l'état naturel (pain de Graham, pain complet, pain Frugès), surtout en ce qui concerne les fragments volumineux de l'enveloppe, si l'on s'adresse à des produits où le son est à un état de grande division, les résultats sont différents.

Les membranes des cellules à aleurone telles qu'on les trouve dans les farines du temps de guerre sont le siège de nombreuses altérations et nous avons vu précisément que la disgestibilité des cellules à aleurone était d'autant plus grande que ces altérations étaient plus importantes. Elle est plus grande dans les farines de meunerie que dans les farines A, plus grande dans le pain que dans les farines, plus grande dans le pain de farine de meunerie que dans le pain de son de farine A. On pourrait en somme comparer la cellule à aleurone enfermée dans sa membrane à une noisette dans sa coquille La noisette n'est assimilable qu'autant que la coquille est brisée et les conclusions des auteurs disant que la cellule à aleurone est inassimilable, reviennent à dire : absorbez une noisette sans briser la coquille, — étant donné que

(1) Rathay. *Loc. cit.*

nous retrouvons dans les fèces la noisette intacte, cela prouve qu'elle est inassimilable, inutile au point de vue alimentaire ; il faut donc l'écarter de l'alimentation humaine.

Donc, cette question de la digestibilité des cellules à aleurone est toute entière dominée par celle des altérations d'ordre mécanique siégeant au niveau de la membrane. Ces altérations sont provoquées par la mouture, par le pétrissage de la pâte, à titre accessoire par la mastication.

Au point de vue pratique, les conclusions des partisans de la farine blanche ont abouti à la mouture par cylindres qui, dans les conditions où elle était pratiquée avant la guerre, tendait à éliminer complètement l'enveloppe. D'ailleurs, les partisans de la farine blanche insistaient sur les précautions à prendre dans la mouture par meules pour obtenir de la farine blanche. L'écartement plus ou moins grand des meules, d'où deux types de mouture, mouture ronde ou haute donnant une farine de faible extraction, blanche, et mouture plate ou basse, donnant une farine d'extraction élevée, plus ou moins bise, réglait l'énergie de la mouture. En effet, dans la meule, les éveillures, le rayonnage de la pierre avec leurs irrégularités provoquent facilement le bris des enveloppes ; les partisans du pain blanc sont les adversaires de la meule : « Cette action ne doit pas être violente, car elle pourrait donner naissance à une farine bise, provenant du broyage même du son par les rhabillures de la meule, et qui contiendrait les cellules détachées de l'assise protéique, cellules qui, comme on

l'a vu plus haut, renferment de la céréaline, ce ferment qui rend le pain bis » (A. Girard et Lindet).

Quoi qu'il en soit de l'utilité du cylindre pour obtenir la farine que nous considérons comme préférable, celle qui contient l'assise protéique et de la question de savoir s'il n'était pas inutile de recourir à des installations coûteuses pour obtenir un résultat auquel la meule arrivait encore mieux, nous croyons avoir montré que dans les conditions de nos expériences, faites sur des produits servant à l'alimentation de millions d'individus, les cellules à aleurone sont parfaitement digestibles.

A titre accessoire intervient la mastication pour favoriser la digestion des cellules à aleurone. On a vu en effet que dans les farines de meunerie le chien digérait peu les cellules à aleurone et que la souris en digérait un assez grand nombre. A moins qu'on ne fasse intervenir pour expliquer cette différence une activité plus ou moins grande des sucs digestifs, le seul facteur qui nous paraît varier d'une façon intéressante ici est la mastication. Il suffit pour s'en rendre compte de regarder un chien broyer rapidement et avaler un os, et une souris grignoter un grain de blé. Mais cette action mécanique de la mastication est assez secondaire. Elle ne peut s'exercer que sur des cellules à aleurone déjà très altérées.

Il n'y a donc aucune autre raison pour proscrire le pain dit « pain bis », — (nous employons à regret cette expression qui à elle seule suffit à juger la question dans l'esprit du public) — que des raisons soit de

mode, soit de prévention irréfléchie, soit d'intérêt.

On a voulu prétendre que le pain bis était la cause de troubles digestifs. Si quelques estomacs délicats ne peuvent pas supporter le pain bis et peuvent s'accommoder du pain blanc, c'est donc que ce pain blanc est quelque chose comme un aliment de régime, et il semble extraordinaire que ce pain soit considéré comme le seul acceptable pour des individus normaux.

Nous n'insisterons pas sur les avantages qui résultent de l'apport dans l'alimentation des matières contenues dans l'enveloppe et dont on a vu le pourcentage. Nous avons voulu en effet nous limiter, autant que possible, aux faits histologiques et nous n'avons abordé d'autres points de vue que pour faire comprendre l'importance pratique de ces faits.

Ils en ont encore davantage depuis qu'un certain nombre d'expérimentateurs ont montré que l'on ne pouvait pas substituer des aliments les uns aux autres en se guidant uniquement sur leur valeur énergétique.

Les expériences de Hopkins et de Miss Willcocks, Funk, Weill et Mouriquand, etc., ces dernières ayant porté sur des produits tels que le pain blanc et le pain de guerre, le blé complet, le blé décortiqué, etc., montrent toute l'importance de la question des vitamines.

Mais étant donné que ces faits ne sont pas encore bien connus, nous ne voulons pas y insister. Nous avons seulement voulu signaler que l'importance de l'assise protéique et des cellules à aleurone dépassait encore le cadre des faits connus jusqu'à ce jour.

On a voulu voir dans la cellulose de l'enveloppe la

cause de troubles digestifs. Mais par son action mécanique qui facilite l'évacuation, cette cellulose apparaîtrait bien plutôt comme un avantage que comme un inconvénient. Encore faudrait-il pour cela que cette cellulose fût en quantité plus considérable, car « il n'y a probablement pas de légume qui contienne aussi peu de ligneux que le blé » (1).

Les autres défauts du pain bis, couleur peu agréable, compacité, saveur plus ou moins aigre, mauvaise conservation ont été signalés depuis longtemps et comme on l'a vu, sont dus à la céréaline. Mège-Mouriès avait cherché par différents procédés à supprimer les effets de cette céréaline : par une fermentation alcoolique vive, en salant la pâte, en n'introduisant les gruaux bis qu'à la fin du travail. D'autres procédés, Danglish, Liebig, Gésille, Horsford ont été tour à tour préconisés. Ce dernier qui consistait en l'adjonction d'une poudre acide (phosphate acide de chaux et de magnésie) et d'une poudre alcaline (bicarbonate de soude) à l'eau du pétrissage nous fournit l'occasion de dire quelques mots d'un procédé dû à MM. Lapicque et Legendre mis en pratique pendant la guerre et qui a donné d'excellents résultats (2). Ayant remarqué que des recoupettes, qui sont de couleur gris brun et de réaction très nettement acide, fermentent lorsqu'on les mouille, en dégageant au bout de peu de temps une odeur infecte, changent de couleur par l'action de vapeurs d'ammo-

(1) Galippe et Barré, *Le Pain*, 1895.

(2) Lapicque et Legendre. Amélioration du pain de guerre par neutralisation des ferments du son, *C. R. Académie des Sciences*, 27 Août 1917.

niaque et deviennent jaune vif, le même phénomène se produisant sur les produits solubles obtenus par macération de recoupettes dans l'eau, ils remarquèrent ensuite que ces recoupettes perdent presque entièrement leur action nocive sur la farine.

Ils appliquèrent ces données de laboratoire à des essais de boulangerie à la manutention militaire du quai Debilly. Il suffit de se servir d'eau de chaux au lieu d'eau ordinaire pour le pétrissage du pain. « Le pain obtenu est bien levé, sa croûte est ferme; il dégage une bonne odeur, sa saveur est douce, sans acidité ni âcreté, il laisse un arrière-goût agréable. Enfin il se conserve sans moisir aussi longtemps que le pain blanc » (1).

Nous ne sommes entré dans les détails concernant la fabrication des farines et du pain que pour bien montrer que la digestion des cellules à aleurone est d'ordre essentiellement pratique et pour écarter les objections que l'on ne manquerait pas de nous adresser en nous disant: les cellules à aleurone peuvent être digérées mais leur admission dans le pain est impossible dans la pratique. Nous croyons avoir suffisamment montré qu'elle est au contraire très possible, et que c'est dans ce cas que l'alimentation par le pain est la plus simple, la nouvelle meunerie à cylindres étant alors un luxe inutile.

Pour terminer, nous ne saurions mieux faire que citer ces lignes de Millon : « Si l'on annonçait tout à coup

(1) R. Legendre. La question du pain, *Presse Médicale*, 11 Octobre 1917.

qu'on est parvenu à enrichir la France de plusieurs millions d'hectolitres d'une substance très alimentaire, sans aucun frais de culture et sans ôter à d'autres productions un seul pouce du sol; si l'on déclarait que cette substance contient plus de gluten que le blé; qu'elle est deux fois plus abondante que lui en matière grasse, et qu'à part 10 p. 100 de ligneux, le reste de ses principes est très assimilable, on croirait assister à quelque rêverie. Cette substance existe cependant, elle réside dans le blé d'où on l'expulse à grands frais. On appauvrit le blé dans son azote, dans sa graisse, dans sa fécule, dans ses sels, dans ses principes aromatiques et sapides pour se débarrasser de quelques millièmes de ligneux ».

CONCLUSIONS

Les cellules à aleurone sont formées de deux parties de constitution chimique absolument différente : la membrane, le protoplasme. La première, tissu cellulosique, résiste aux actions digestives. A l'état normal, telle qu'elle se présente dans le grain de blé, elle entoure le protoplasme, et, constituant une barrière infranchissable aux sucs digestifs, fait que le protoplasme est inassimilable.

Le protoplasme, constitué par les matières azotées, des graisses, des sels, est complètement digestible.

Il suffit, pour que sa digestion ait lieu, qu'une ou plusieurs solutions de continuité existent au niveau de la membrane et permettent le contact des sucs digestifs avec le protoplasme.

La digestion des cellules à aleurone est entièrement contingente. Aucune loi ne permet de l'expliquer. Seule, une question de fait, la rupture de la membrane la rend

possible. Elle sera d'autant plus parfaite que cette rupture sera plus complète.

Dans la pratique, ce résultat est obtenu par une mouture fine du son. L'adjonction des cellules à aleurone présente des inconvénients dus à l'existence d'un ferment, la céréaline, que l'on peut éviter en neutralisant l'action de ce ferment par un alcali.

L'introduction dans le pain de l'assise des cellules à aleurone qui, dans les conditions de mouture indiquées, sont entièrement digestibles, fait gagner en matières nutritives environ 1 p. 100 du poids du grain.

Vu : le Président,
M. LETULLE

Vu : le Doyen,
H. ROGER

Vu et permis d'imprimer :
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
L. POINCARÉ

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS 5

TECHNIQUE 8

LE GRAIN DE BLÉ 11

LA FARINE 20

LE PAIN 30

EXPÉRIMENTATION 42

Blé 42

Farines 49

Procédés d'examen 51

Digestion des farines et des produits issus de farines . 59

— — par le chien 59

— — par la souris 59

— — par le lapin et le cobaye 66

LES CELLULES A ALEURONE DANS LE PAIN 66

DIGESTION DES CELLULES A ALEURONE DU PAIN 73

LES CELLULES A ALEURONE ET LE PAIN BIS 75

CONCLUSIONS 83

Coulommiers. — Imp. Dessaint et Cie, 41, rue de Melun.